

ISSN 2313-4763

Міністерство освіти і науки України

Херсонська державна морська академія

**НАУКОВИЙ ВІСНИК**  
**ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ**

Науковий журнал

Виходить двічі на рік

№ 1 (12)

Херсон  
2015

**Науковий вісник Херсонської державної морської академії** : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2015. – № 1 (12). – 324 с.

**Засновник і видавець** – Херсонська державна морська академія

*Рекомендовано до друку на засіданні Вченої ради Херсонської державної морської академії (протокол № 14 від 26.06.2015 р.)*

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

ХОДАКОВСЬКИЙ Володимир Федорович, к.і.н., професор, головний редактор;

БАРДАЧОВ Юрій Миколайович, д.т.н., професор, заступник головного редактора;

КУЛІКОВА Лілія Борисівна, д.пед.н., професор, заступник головного редактора;

БЕНЬ Андрій Павлович, к.т.н., доцент, заступник головного редактора

**Члени редакційної колегії:**

БУКЕТОВ Андрій Вікторович, д.т.н., професор;

ГОЛОБОРОДЬКО Євдокія Петрівна, д.пед.н., професор;

ЄВТУХ Микола Борисович, д.пед.н., професор;

ІСАЄВ Євген Олексійович, д.т.н., професор;

ЛЄОНОВ Валерій Євгенович, д.т.н., професор;

МАЛИГІН Борис Вадимович, д.т.н., професор;

СОКОЛОВА Надія Андріївна, д.т.н., професор;

СЕЛІВАНОВ Станіслав Євгенович, д.т.н., професор;

ХОДАКОВ Віктор Єгорович, д.т.н., професор

**Адреса редакційної колегії:**

73000, м. Херсон, просп. Ушакова, 20, тел. (0552) 22-35-69

**Свідоцтво про державну реєстрацію** друкованого засобу масової інформації КВ № 18987-7776ПР від 11.05.2012 р.

**Журнал внесено до Переліку наукових фахових видань України** (постанова президії ВАК України № 1-05/3 від 30.03.2011 р.)

Журнал індексується українською загальнодержавною реферативною базою даних «Україніка наукова» та представлений у **Науковій електронній бібліотеці Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського.**

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази «**Наукова електронна бібліотека E-Library.Ru**» (Російського індексу наукового цитування – РІНЦ) (договір № 732-11/2014 від 24.11.2014 р.).

**ISSN 2313-4763**

© Науковий вісник Херсонської  
державної морської академії, 2015

***МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ***

## ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ В СУДОВОЖДЕНИИ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЕГО ВЛИЯНИЯ

**Бень А.П., Паламарчук И.В.**

*Херсонская государственная морская академия*

*Внедрение новейших технических средств управления движением судна естественным образом «отрывает» судоводителя от процесса поддержания заданного уровня безопасности, поскольку он становится не в состоянии непосредственно и полностью контролировать этот уровень в реальном времени. Большинство навигационных аварий случается не из-за отказа технических средств навигации или управления движением судна, а из-за неготовности судоводителей своевременно принимать верное управленческое решение в соответствии со складывающейся ситуацией. Целью исследования является выявление ключевых составляющих явления «человеческий фактор» и определение эффективных путей снижения его негативного влияния на безопасность современного судоходства. В статье рассмотрены вопросы влияния человеческого фактора на безопасность современного судовождения. Рассмотрены особенности процесса функционирования современных автоматизированных систем управления судном и процессов взаимодействия с ними судоводителя. Доказано, что проблема снижения негативного влияния человеческого фактора является комплексной и должна решаться одновременным совершенствованием технических возможностей автоматизированных систем в сочетании с новыми курсами подготовки плавсостава, ориентированными на совершенствование качества подготовки в области управления ресурсами мостика и принятия решений.*

**Ключевые слова:** *человеческий фактор, система поддержки принятия решений, безопасность судоходства.*

**Введение.** Значительный рост интенсивности морских перевозок за последние десятилетия привел к увеличению аварий судов, в том числе с человеческими жертвами и тяжелыми техногенными последствиями. Широкое применение новых информационных технологий и автоматизированных систем в судовождении не гарантирует остановки этого процесса, поскольку, с одной стороны, использование современных информационных систем управления движением судна значительно облегчает труд судоводителей, но с другой - объективно порождает новые проблемы, обусловленные процессами взаимодействия человека и технических средств. Так, чем более сложными становятся функции таких систем, тем острее возникает необходимость в координации работы технических средств и интерпретации информации, предоставляемой с их стороны судоводителей. Одновременно, с ростом количества информации, подлежащей обработке в реальном времени, возникает и проблема эффективного взаимодействия между членами судовой команды, которые ее получают.

Внедрение новейших технических средств управления движением судна естественным образом «отрывает» судоводителя от процесса поддержания заданного уровня безопасности, поскольку он становится не в состоянии непосредственно и полностью контролировать этот уровень в реальном времени. Поэтому, как показывает анализ причин возникновения аварий на море, главным их фактором продолжает оставаться так называемый «человеческий фактор», поскольку именно он является причиной более 80 % их общего количества. Большинство навигационных аварий случается не из-за отказа технических средств навигации или управления движением судна, а из-за неготовности судоводителей своевременно принимать верное управленческое решение в соответствии со складывающейся ситуацией.

**Актуальность исследования.** Проблеме обеспечения безопасности мореплавания во многих странах мира, в том числе и Украине, в настоящее время уделяется приоритетное значение. Государственная политика в сфере обеспечения безопасности судоходства определена постановлением Кабинета Министров Украины за №1137 от 7 октября 2009 года [1] и предусматривает координацию действий всех субъектов,

ответственных за безаварийное судоходство. Одной из важнейших составляющих данной проблемы, является снижение влияния человеческого фактора.

Вопросам влияния человеческого фактора на состояние аварийности на морском транспорте посвящены резолюции ИМО, в частности А.772 (18) «Фактор усталости при укомплектовании судов экипажами и обеспечении безопасности» от 04 ноября 1993 года и А.947 (23) «Принципы и цели организации в отношении концепции человеческого элемента» от 05 ноября 2003 года. В 2003 году ИМО был принят документ под названием «Видение человеческого фактора, принципы и цели (Human Element Vision, Principles and Goals), в котором человеческий фактор был признан в качестве главной причины, значительно ухудшающей уровень безопасности современного морского судоходства.

Проблемам, возникающим в процессе взаимодействия человека с техническими средствами, а также вопросам негативного влияния человеческого фактора на эффективность, надежность и безопасность взаимодействия элементов системы «человек-машина», посвящены труды многих авторов [2, 3, 7]. В указанных работах в первую очередь отслеживается прямая зависимость безопасности судоходства от компетентности представителей судового персонала, их готовности работать в тяжелых и экстремальных условиях, способности оперативно принимать верные и эффективные решения по управлению морским судном, а специфика взаимодействия оператора с соответствующей судовой техникой рассматривается с точки зрения функционирования эргатической системы.

Снижение негативного влияния человеческого фактора в автоматизированных системах управления судном и обеспечение эффективного функционирования судовых эргатических систем представляет собой актуальную проблему, решение которой позволит существенно уменьшить количество морских аварий.

**Целью исследования** является выявление ключевых составляющих явления «человеческий фактор» и определение эффективных путей снижения его негативного влияния на безопасность современного судоходства.

**Основная часть.** Явление «человеческий фактор» приобрело официальный статус только в последнее время, поэтому оно недостаточно изучено по своей сути, характеристикам, причинами возникновения, последствиями и спецификой. Долгое время ему не уделялось достаточного внимания и, соответственно, недооценивались негативные последствия его влияния. В настоящее время существует два основных направления противодействия явлению «человеческий фактор», в частности путем конструктивного улучшения технического оснащения морских судов и повышения уровня профессиональной подготовки членов экипажа судна.

Согласно первому направлению, необходимо создавать новые информационные системы управления, учитывающие особенности процесса взаимодействия в эргатических системах и имеющие функции систем поддержки принятия решений. Второе направление предусматривает внедрение в цикл профессиональной подготовки специалистов морской отрасли специальных курсов, направленных на совершенствование качества их подготовки в области принятия решений в критических ситуациях, межличностного взаимодействия, умение осуществлять эффективное руководство подчиненными, управление ресурсами ходового мостика и современным навигационным оборудованием.

Широкое применение современных информационных технологий в судовождении на современном этапе приводит к все более широкому внедрению в судовых автоматизированных системах, прежде всего навигационных, элементов систем поддержки принятия решений (СППР) [4, 5]. Автоматизированные судовые системы управления в указанных условиях становятся разновидностью специфических эргатических систем управления, принципиальной особенностью которых является сохранение активной роли человека как объекта принятия управленческих решений.

Рассматривая вопросы функционирования автоматизированных систем в судовождении, следует отметить, что таким системам присущ ряд специфических черт,

обусловленных отраслью их практического применения, которые должны быть учтены в процессе их создания и эксплуатации, а именно [7]:

- функционирование в режиме реального времени накладывает определенные временные ограничения на процессы оценивания навигационной ситуации, формирование множества возможных альтернатив по принятию решений, и предоставление соответствующей информации лицу, принимающему решение (ЛПР);

- множество альтернатив по принятию решений, формируемое СППР, должно отвечать требованиям, определенным в международных нормативных документах, регламентирующих движение судов, принципам «хорошей морской практики» и опыта ЛПР, что сложно формализовать в виде математических моделей;

- процесс взаимодействия автоматизированных систем управления и ЛПР имеет циклический характер: «формирование информационного сообщения – восприятие информации – обработка информации и принятие решений – осуществление управляющих воздействий», большая часть времени в котором приходится на сторону ЛПР;

- принимая во внимание тот факт, что количество информации, необходимое оценки навигационной ситуации значительно, а ЛПР имеет определенные физиологические ограничения на объемы воспринимаемых и обрабатываемых им одновременно информационных сообщений, важное значение приобретает эффективное коммуникативное взаимодействие между членами команды навигационного мостика.

Ключевым моментом снижения влияния человеческого фактора на уровень аварийности, является осознание ситуации за пределами непосредственных причин аварий. Это может быть достигнуто путем подробного определения цепей скрытых ошибок, связанных с процедурами и действиями, способствовали их возникновению. Осознание сущности явления «человеческий фактор» на море как причины возникновения аварии по основаниям профессиональных ошибок представителей плавсостава, допускаемых ими в пределах функционирующей социотехнической системы, обуславливает необходимость обеспечения высокого уровня их профессионального реагирования в подсистеме «человек-машина». Минимизация профессиональных ошибок со стороны членов судового экипажа и представителей офицерского состава может быть обеспечена в условиях, когда они:

- четко воспринимают и осознают специфику ситуации, с максимальной степенью достоверности предусматривают варианты дальнейшего возможного развития событий; эта профессионально значимая способность базируется на восприятии, памяти, аналитическом мышлении, творческой и воспроизводящей воображения, прогностических способностях;

- имеют возможность оперативно получать и анализировать необходимую информацию о реальном положении дел и принимают профессионально адекватные решения;

- на основе полученных выводов о сущности ситуации строить совместную вероятностную модель поведения членов судового экипажа, чему способствуют профессиональная самореализация, стабильность межличностных отношений, социальная ответственность и эмпатия;

- вовремя учитывать информацию предупредительного характера от представителей береговых служб, определять удачную стратегию безопасности и быстро выбирать лучший вариант выхода из сложившейся критической ситуации. Эта способность базируется на основе гибкости, толерантности, профессиональной самооценки и самодовира, а также культуры безопасности морского;

- генерировать реалистичные решения с учетом возможной ограниченности действий членов судового экипажа в ситуациях непредсказуемости развития событий;

- оптимально распределять нагрузку среди подчиненных на основании учета их реальных профессиональных и психофизических возможностей действовать адекватно

в каждой конкретной ситуации; такая способность обуславливается высоким уровнем социального восприятия каждого члена судового экипажа, уровнем его ответственности, эмпатии, стабильных межличностных отношений;

- сознательно отслеживать процесс стабилизации ситуации благодаря уменьшению уровня ее критичности путем взаимной поддержки.

Принимая во внимание указанные особенности функционирования автоматизированных систем управления судном, можно сделать вывод, что решение указанных проблем выходит за плоскость процессов взаимодействия «человек – автоматизированная система», именно поэтому решение проблемы «человеческого фактора» может быть только комплексным и должно включать три ключевые составляющие:

- совершенствование функциональных возможностей современных автоматизированных систем и технических средств судовождения;
- совершенствование процессов взаимодействия в эргатической системе «ОПР-автоматизированная система»;
- совершенствование процессов взаимодействия «человек-человек» в судовом экипаже.

Только одновременное решение указанных составляющих позволит эффективно преодолевать проблему негативного влияния человеческого фактора в современном мореплавании.

Для решения проблемы в соответствии с первой составляющей, необходимо:

- внедрение новых информационных технологий обработки и представления информации, средств когнитивной графики, адаптивных интерфейсов;
- применение новых автоматизированных систем, способных решать задачи координации взаимодействия между судами.

Совершенствование процессов взаимодействия в эргатической системе «ЛПР-автоматизированная система», может быть достигнуто путем разработки современных СППР судоводителя.

Последняя составляющая имеет непосредственное отношение к профессиональным качествам членов судовой команды и может быть учтена путем введения специальных курсов подготовки плавсостава. Одним из курсов, способных эффективно решать указанные вопросы, является курс «Менеджмент морских ресурсов», преподавание которого начато в Херсонской государственной морской академии в 2012 году.

**Выводы.** Проблема снижения негативного влияния человеческого фактора на уровень аварийности в современном судоходстве требует комплексного решения, которое может быть достигнуто путем: применения современных информационных систем управления судном, обеспечивающих функции поддержки принятия решений, на основе принципов эффективного взаимодействия «ЛПР-автоматизированная система управления». Внедрение таких систем должно осуществляться одновременно с введением новых программ подготовки плавсостава, направленных на повышение эффективности коммуникативного взаимодействия членов машинной команды, умений принятия ими правильных управленческих решений в критических условиях, формированию лидерских качеств. Только одновременное решение указанных составляющих позволит эффективно преодолевать проблему негативного влияния человеческого фактора, и как следствие, будет способствовать снижению количества морских аварий, вызванных его воздействием.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постанова Кабінету Міністрів України №1137 від 07 жовтня 2009 р.
2. Стадниченко С. М. Человеческий фактор на море: учебно-методическое пособие / С. М. Стадниченко. – Одесса : Астропринт, 2003. – 192 с.

3. Менеджмент морських ресурсів : навчальний посібник / Безлуцька О. П., Колегаєв М. О., Кошелік Л. А., Кулікова Л. Б., Лещенко А. М., Нестеренко В. Б., Перепадя К. В., Тригуб С. М., Ходаковський В. Ф., Цимбал М. М. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2012. – 100 с.

4. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна / Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. – 3-е изд., перераб. и доп.- Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.

5. Мальцев А. С. Некоторые особенности применения АИС для предупреждения столкновений / Мальцев А. С., Орлов Е. О. // Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА. – Одесса: ИздатИнформ, 2007. – Вып. 14. – С. 67-74.

6. Бень А. П. Представление правил МППСС-72 в системе поддержки принятия решений судоводителя / А. П. Бень // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті : Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Том 1. – Херсон : Видавництво ХДМІ, 2011. – С. 13-15.

7. Бень А. П. Людський фактор в автоматизованих системах управління судном та шляхи зниження його впливу / Бень А. П. // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – № 2 (7). – С. 26-30.

## REFERENCES

1. Postanova Kabinetu Ministriv Ukraïni №1137 vid 07 zhovtnya 2009 r.
2. Stadnichenko S. M. Chelovecheskiy faktor na more: uchebno-metodicheskoe posobie / S. M. Stadnichenko. – Odessa : Astroprint, 2003. – 192 s.
3. Menedzhment morsjkich resursiv : navchalnij posibnik / Bezlucjka O. P., Kolegaev M. O., Koshelik L. A., Kulikova L. B., Lethenko A. M., Nesterenko V. B., Perepadya K. V., Trigub S. M., Khodakovskij V. F., Cimbал M. M. – Kherson : Khersonsjka derzhavna morsjka akademiya, 2012. – 100 s.
4. Vaguthenko L. L. Sistemih avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem sudna / Vaguthenko L. L., Cihmbal N. N. – 3-e izd., pererab. i dop.- Odessa: Feniks, 2007. – 328 s.
5. Maljcev A. S. Nekotorihe osobennosti primeneniya AIS dlya preduprezhdeniya stolknoveniy / Maljcev A. S., Orlov E. O. // Sudovozhdenie : sb. nauchn. trudov / OHMA. – Odessa: IzdatInform, 2007. – Vihp. 14. – S. 67-74.
6. Benj A. P. Predstavlenie pravil MPPSS-72 v sisteme podderzhki prinyatiya resheniy sudovoditelya / A. P. Benj // Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti : Materiali Mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii. Tom 1. – Kherson : Vidavnictvo KhDMI, 2011. – S. 13-15.
7. Benj A. P. Lyudskij faktor v avtomatizovanikh sistemakh upravlinnya sudnom ta shlyakhi znizhennya yjogo vplivu / Benj A. P. // Naukoviy visnik Khersonskoj derzhavnoj morskoï akademii. – Kherson : Vidavnictvo KhDMA, 2012. – № 2 (7). – S. 26-30.

### **Бень А.П. Паламарчук І.В. ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР ПРИ ПРИЙНЯТТІ РІШЕНЬ В СУДНОВОДІННІ ТА ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЙОГО ВПЛИВУ**

*Впровадження новітніх технічних засобів управління рухом судна природним чином «відриває» судоводія від процесу підтримки заданого рівня безпеки, оскільки він стає не в змозі безпосередньо і повністю контролювати цей рівень в реальному часі. Більшість навігаційних аварій трапляється не через відмову технічних засобів навігації або управління рухом судна, а через неготовність судоводіїв своєчасно приймати вірне управлінське рішення відповідно зі складною ситуацією. Метою дослідження є виявлення ключових складових явища «людський фактор» і визначення ефективних шляхів зниження його негативного впливу на безпеку сучасного судноплавства. У статті розглянуті питання впливу людського фактора на безпеку сучасного судноводіння. Розглянуто особливості процесу функціонування сучасних автоматизованих систем управління і процесів взаємодії з ними судоводія. Доведено, що проблема зниження негативного впливу людського фактора є комплексною і повинна вирішуватися одночасним вдосконаленням технічних можливостей автоматизованих систем в поєднанні з новими курсами підготовки плавкладу, орієнтованими на вдосконалення якості підготовки в галузі управління ресурсами містка і прийняття рішень.*

**Ключові слова:** людський фактор, система підтримки прийняття рішень, безпека судноплавства

**Ben A.P. Palamarchuk I.V. HUMAN FACTOR IN DECISION-MAKING NAVIGATIONAL AND WAYS OF REDUCING ITS INFLUENCE**

*The introduction of the latest technical controls vessel movement in a natural way to "rip" the navigator of the process to maintain a given level of security, because it becomes unable to directly and fully control the level in real time. Most navigational accidents happen not because of failure of means of navigation or management of vessel traffic, but because of the unavailability of navigators to take timely and correct management decisions in accordance with the evolving situation. The aim of the study is to identify the key components of the phenomenon of "human factor" and the identification of effective ways to reduce its negative impact on the safety of modern shipping. The article discusses the impact of human factors on the safety of modern navigation. The features of the process of functioning of the modern automated ship control systems and processes of interaction with them, navigator. It is proved that the problem of reducing the negative impact of human factors is complex and needs to be addressed at the same time improving the technical capabilities of the automated systems combined with new courses of training of seafarers, focused on improving the quality of training in the field of bridge resource management and decision-making.*

**Keywords:** human factors, decision support system, the safety of navigation.

© Бень А.П. Паламарчук І.В.

Статтю прийнято  
до редакції 13.03.15

## АНАЛІЗ ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ СУДЕН ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

**Бондаренко О.В.**

*Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв*

*Зібрано статистичні дані щодо суден для доставки персоналу на шельфові вітроенергетичні установки (WFSV). Визначено основні архітектурно-конструктивні типи WFSV, вказано на основні вимоги, які необхідно враховувати при проектуванні суден даного типу. Отримано залежності для визначення основних характеристик WFSV на початкових етапах їх проектування.*

**Ключові слова:** катамаран, WFSV, основні характеристики, аналіз, вітроелектропарк.

**Постановка проблеми.** Нагальною проблемою сучасності є пошук ефективних відновлювальних джерел енергії. У багатьох країнах світу, які мають значну протяжність берегової лінії з невеликими глибинами активно стали використовувати шельфові вітроелектропарки (ВЕП). Станом на кінець 2014 року загальна потужність таких ВЕП у світі становила 8759 МВт [1].

Розвиток шельфової вітроенергетики привів до створення нового типу судна – судна для доставки обслуговуючого персоналу, або Wind farm service (support) vessel (WFSV) за термінологією, яка прийнята в англійській літературі. Хоча, заради справедливості, слід сказати, що даний тип суден дещо схожий на судна для доставки персоналу на бурові платформи. Проте специфіка експлуатації WFSV має багато відмінностей і, тому, можна говорити про їх новизну. Виходячи з новизни суден даного типу, актуальною є задача узагальнення досвіду їх проектування та побудови й отримання статистичних залежностей для визначення головних розмірів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що незважаючи на значний інтерес до побудови суден типу WFSV, практично відсутні наукові роботи, які присвячено питанню вибору головних розмірів цих суден. Деякі дані про алгоритм визначення ефективності та процес проектування WFSV можна знайти в [2, 3]. Таким чином можна зробити висновок, що питання вибору проектних характеристик суден для доставки обслуговуючого персоналу на вітроенергетичні турбіни шельфових вітропарків є мало вивченим і потребує свого вирішення.

**Мета роботи** – отримання статистичних залежностей для визначення головних розмірів суден, для доставки обслуговуючого персоналу шляхом вивчення та узагальнення досвіду їх проектування та побудови.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Архітектурно-конструктивний тип суден для доставки обслуговуючого персоналу на шельфові вітроенергетичні парки сформувався згідно з основними функціями, які вони виконують на етапі експлуатації ВЕП: доставка обслуговуючого персоналу та його інструменту, матеріалів, обладнання, запасних частин та інших вантажів до турбін; проведення інспекційних заходів; виконання водолазних і профілактичних робіт, очищення колон турбін.

Також дані судна можуть бути пристосовані для перевезення палива для генератора ВЕП.

Крім цих функцій, WFSV на етапі монтажу ВЕП використовуються для забезпечення робіт суден-кабелеукладчиків, підтримки водолазних операцій.

Враховуючи вказані задачі та специфіку експлуатації WFSV, при проектуванні суден даного типу необхідно враховувати наступні ключові фактори [4]:

– погодно-метеорологічні умови в районі експлуатації (висота хвиль, швидкість вітру, частота та тривалість штормів);

- розташування ВЕП і місця базування суден, оскільки відстань між ними визначає час роботи обслуговуючого персоналу та тривалість доставки персоналу до турбіни, яка потребує ремонту;
- глибини в районі місця розташування ВЕП.
- маневреність для забезпечення швидкого та безпечного руху між турбінами вітроелектропарку;
- комфортність і безпека висадки обслуговуючого персоналу;
- мобільність, тобто можливість використання суден для виконання різноманітних задач.

Статистичний аналіз зібраних даних показав, що близько 91 % побудованих суден типу WFSV розраховано на перевезення 12 осіб обслуговуючого персоналу (рис. 1). Це пояснюється існуючою в міжнародних класифікаційних товариствах нормою до визначення пасажирського судна (більше 12 пасажирів). Проте введення у 2011 році, спеціально розроблених для даного типу суден правил, дало змогу проєктантам будувати WFSV з більшою кількістю персоналу та при цьому не забезпечувати виконання вимог, які висуваються до пасажирських суден.

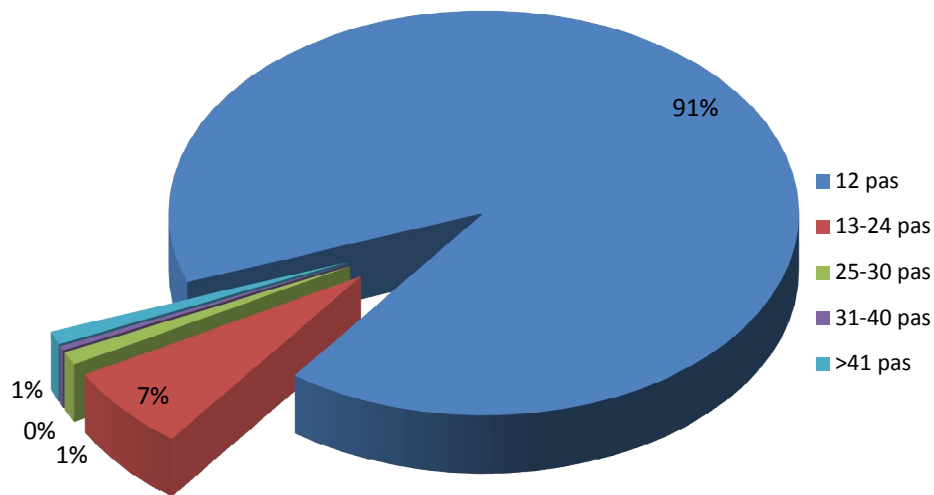


Рисунок 1 – Статистичні дані по кількості обслуговуючого персоналу

Як видно з рис. 2 основними матеріалами корпусу, які використовуються при побудові WFSV, є алюмінієво-магнієві сплави (Aluminium) і склопластик (GRP). Це пояснюється великою швидкістю руху та намаганням проєктантів зменшити загальну потужність головних двигунів за рахунок маси судна. У більшості випадків сталь (Steel) використовувалася на перших WFSV даного типу, які були переобладнані зі звичайних малих або риболовних суден.

Для вже побудованих суден типу WFSV характерними рисами є невелика дальність плавання (до 800 миль), водотоннажність (до 100 т) і велика експлуатаційна та максимальна швидкість руху (рис. 3). Значна швидкість руху пояснюється намаганням проєктантів зменшити час доставки персоналу до місця ремонту. Це дає змогу збільшити тривалість роботи персоналу, оскільки за правилами техніки безпеки виконання ремонтних робіт допускається тільки у світлий час.

На дальність плавання за запасами палива в першу чергу впливає віддаленість ВЕП від бази дислокації WFSV. Оскільки більшість побудованих ВЕП розташована близько до берега, то і дальність плавання суден для доставки персоналу не перевищує 800 миль, проте в окремих WFSV доходить до 1200 миль і більше.

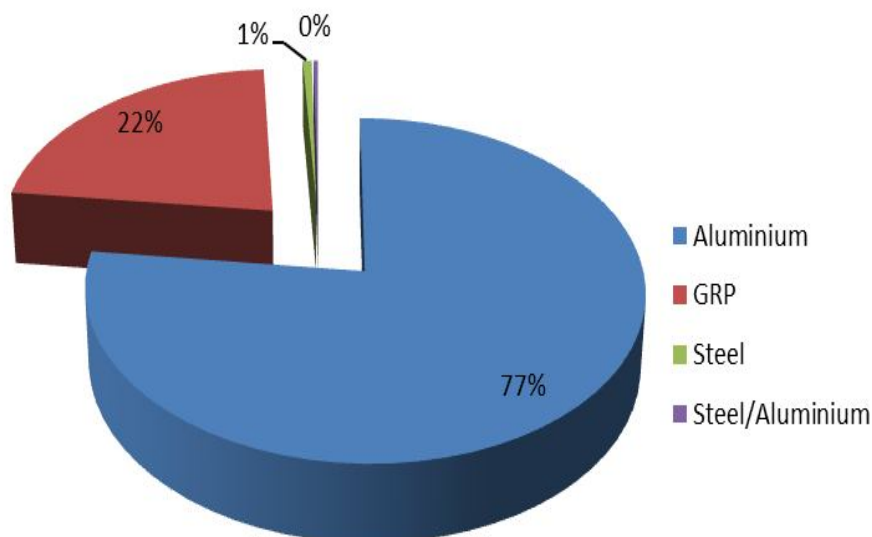


Рисунок 2 – Розподіл суден за матеріалом корпусу та надбудови

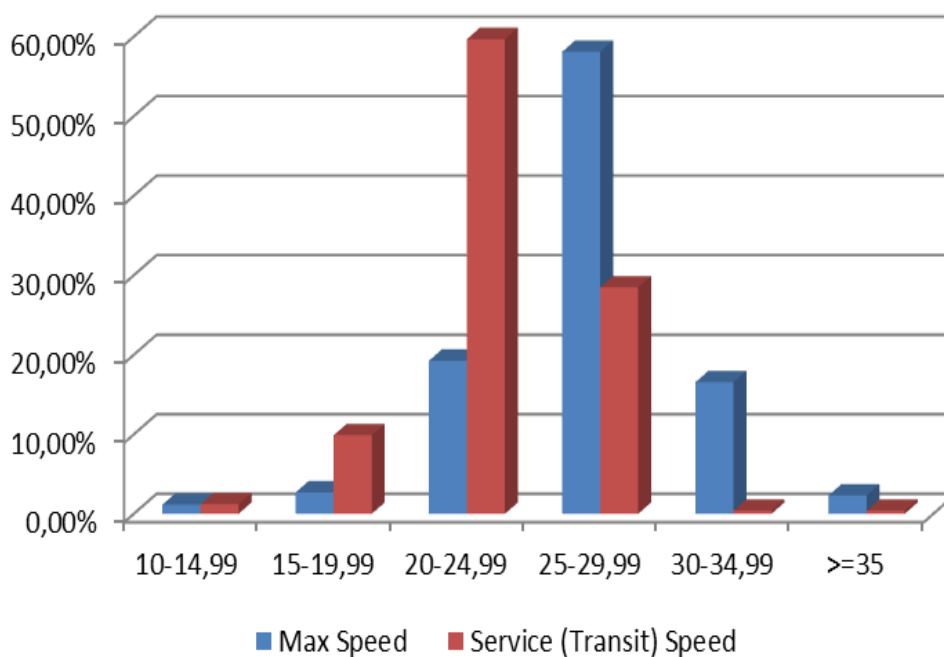


Рисунок 3 – Розподіл суден за швидкістю руху

Статистичний аналіз даних WFSV показав, що основними типами рушіїв є гвинти фіксованого та регульованого кроку (53 %), водомети (45 %) та IPS (2 %). Дуже часто інженерами розробляються універсальні проекти суден, на яких передбачено можливість установки гвинтів або водометів у залежності від побажань замовника.

Значна увага при розробці проектів WFSV приділяється забезпеченню безпеки та комфорту персоналу на борту судна. Це пов'язано з необхідністю недопущення виникнення «морської хвороби» та значних перевантажень від хитамиці. До основних заходів, які направлені на покращення умов перебування обслуговуючого персоналу на борту суден, у першу чергу слід віднести: застосування спеціальних крісел на амортизуючих підвісках, системи заспокоєння хитамиці (інтерцепторів, T-foils) та рубок, що спеціально змонтовані на амортизаторах.

Основним способом переміщення персоналу з WFSV на вітряну турбіну є перехід з носової частини судна на вертикальний трап, який встановлено на турбіні «bump and jump»). При цьому судно носовою частиною впирається в турбіну. Тому головною

конструктивною особливістю WFSV є наявність носового кранця спеціальної форми (рис. 4) та перехідного містка. Останнім часом на WFSV встановлюють спеціальні передаточні системи різних типів Turbine Access System, Amplemann, Maxcess and Houlder TAS, MOTS access system. Застосування таких систем дає можливість проводити висадку обслуговуючого персоналу при більшій висоті хвиль, підвищити безпеку персоналу та збільшити так зване «трансферне вікно».

Для забезпечення можливості проведення водолазних робіт з підводним апаратом палуба обладнується днищевою шахтою.



а



б

Рисунок 4 – Носовий кранець (а) і перехідний місток (б)

Ще однією конструктивною особливістю суден даного типу WFSV є наявність відкритих і вільних від обладнання площадок, на яких перевозяться вантажі масою від 1 до 50 т (запчастини, інструмент, обладнання, контейнери). Також є судна з кормовими, або носовими та кормовими палубними площадками. Загальна площа таких площадок може бути визначена за наступною формулою:

$$A = 0,3233(L_{oa} B)^{1,0418},$$

де  $L_{oa}$ ,  $B$  – відповідно довжина та ширина судна найбільша, м.

Із вантажних пристроїв на судах у носовій або кормовій частинах можуть бути встановлені вантажні крани, в переважній більшості, вантажопідйомністю до 5 т (рис. 5).

Рубка на судах типу WFSV може виконуватися в наступних варіантах: Forward Deckhouse, Raised Pilot House, Flying Bridge, High Bridge.

В останні роки перевага надається двоюрисній рубці High Bridge, оскільки такий варіант забезпечує найкращу видимість носової площадки, що особливо важливо при висадці персоналу на турбіну.

Значні зусилля при розробці проектів суден типу WFSV направлено на підвищення їх ефективності. Одним із шляхів такого підвищення за рахунок зменшення витрат палива та покращення морехідності судна є застосування різноманітних форм корпусу: monohull, катамаранів, суден з малою площею ватерлінії (SWATH), тримаранів, TriSWATH, Variable draft (S-cat, XSS – Extreme Semi-SWATH), wave piercing (WP), Twin Axe, Z bow, HYSUCAT foil тощо (рис. 6).

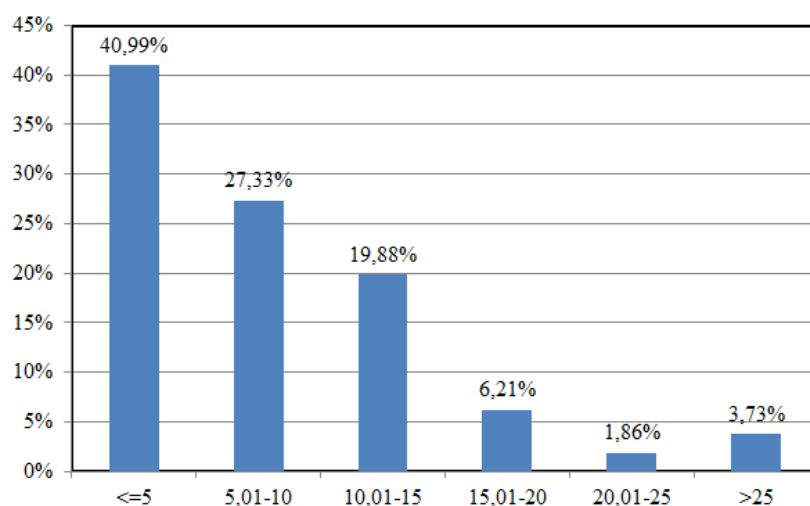


Рисунок 5 – Розподіл WFSV за вантажопідйомністю кранів



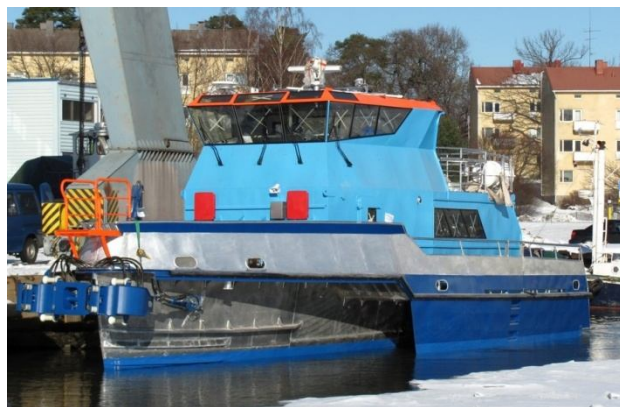
а



б



в



г

Рисунок 6 – Форми корпусу WFSV:

а – monohull; б – SWATH; в – катамаран; г – тримаран

Статистична обробка зібраних даних показала, що більше 85 % WFSV є катамаранами (рис. 7). Тому регресійний аналіз головних розмірів виконано саме для WFSV катамаранного типу.

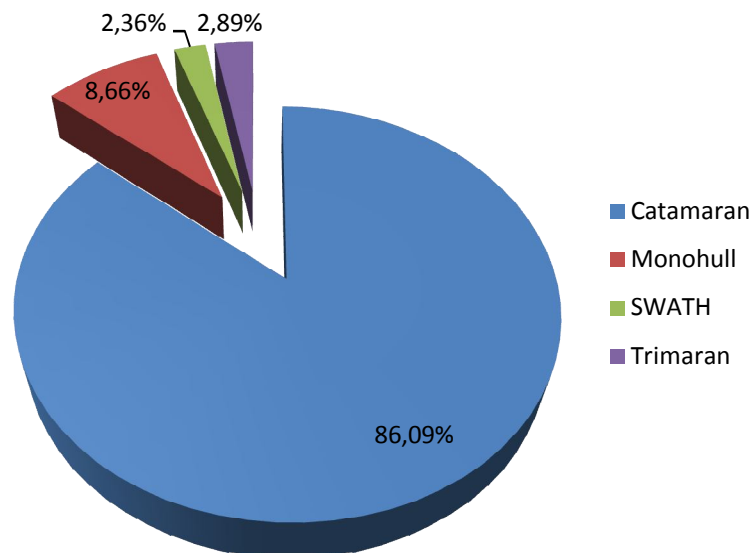


Рисунок 7 – Розподіл суден за формами корпусу

Як свідчать статистичні дані переважна більшість суден для доставки обслуговуючого персоналу експлуатуються з числами Фруда більше 0,8, тому характерною формою корпусу катамаранів є гостроскулі обводи, які застосовуються для  $F_{N,L} > 0,75$ . Серед великого різноманіття форм обводів WFSV катамаранного типу, в першу чергу, слід відзначити судна з симетричними (рис. 8), асиметричними корпусами та корпусами типу «split hull» (рис. 9).

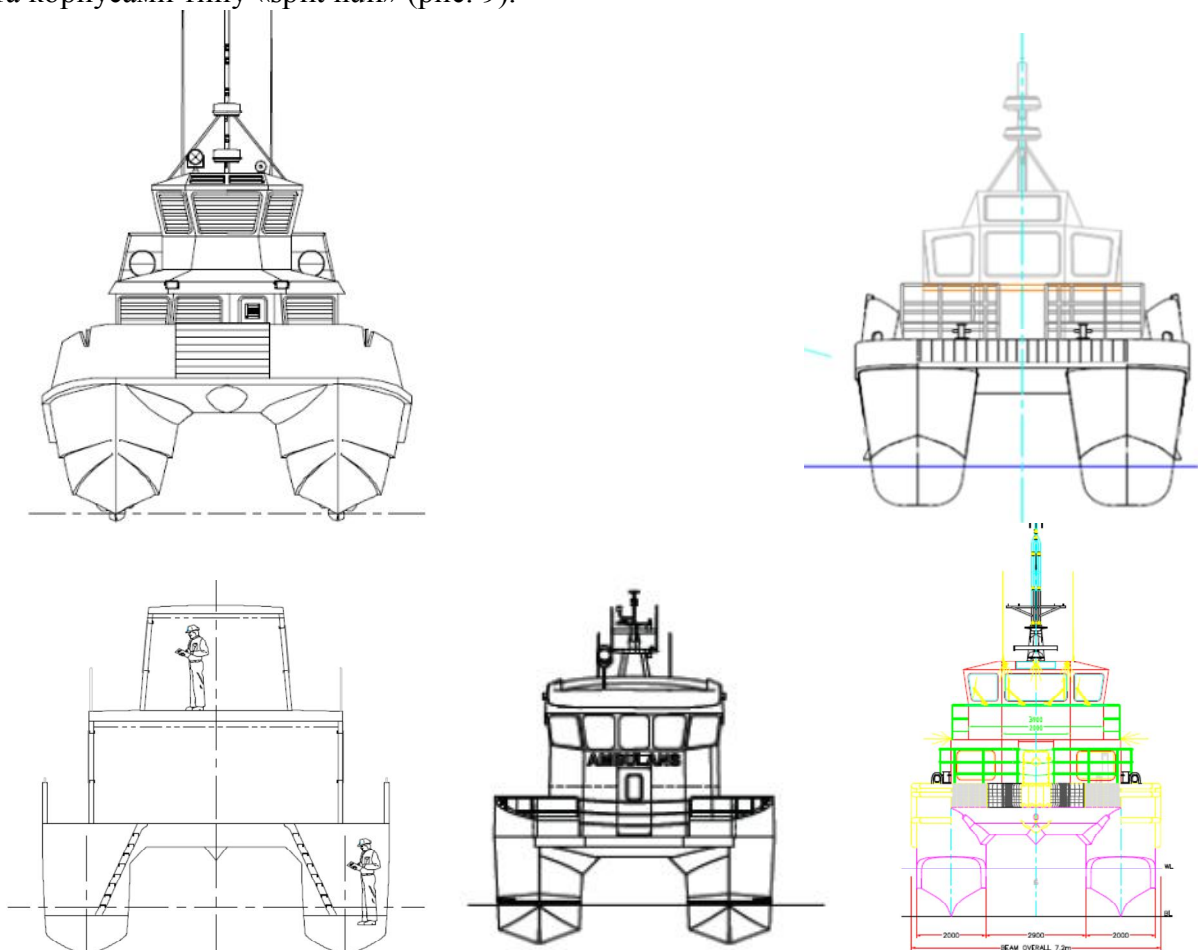


Рисунок 8 – Різні форми симетричних обводів катамаранів типу WFSV

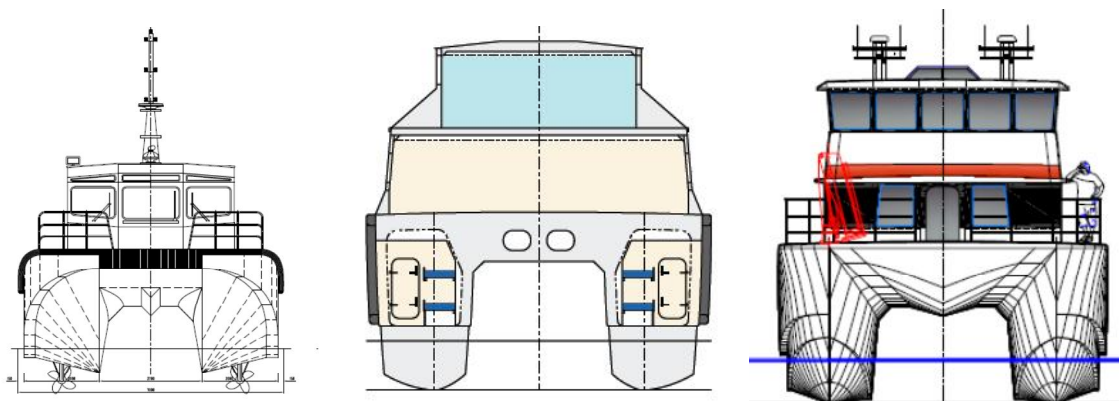


Рисунок 9 – Різні форми асиметричних обводів катамаранів типу WFSV

Рекомендації щодо вибору тієї чи іншої форми обводів катамаранів можна знайти в роботі [5].

При виборі параметрів форми корпусу катамарану дуже важливо правильно визначити відношення довжини судна до ширини одного корпусу, величину горизонтального та вертикального кліренсу, оскільки саме вони впливають на опір, потужність головного двигуна та морехідність. Статистична обробка даних WFSV катамаранного типу дала можливість запропонувати наступні формули для попереднього розрахунку:

– відношення довжини до ширини одного корпусу катамарана

$$\frac{L}{B_1} = 0,5265L_{oa} - 0,4059;$$

– величини горизонтального кліренсу в залежності від довжини судна найбільшої

$$B_{CL} = 0,4039 - 0,0088L_{oa};$$

– величини горизонтального кліренсу в залежності від довжини судна найбільшої

$$t = (0,045 \dots 0,0085)L_{oa};$$

– повної водотоннажності

$$\Delta = 0,0485L_{oa}^{2,3199};$$

– довжини судна по ватерлінії  $L_{WL}$  в залежності від довжини найбільшої  $L_{oa}$

$$L_{WL} = 0,9247L_{oa} - 0,5503;$$

– відношення  $L/B$  у функції від довжини найбільшої  $L_{oa}$

$$L/B = 0,0326L_{oa} + 2,0996;$$

– висоти борту

$$D = 0,4632L_{oa}^{0,5738};$$

– осадки максимальної

$$d_{max} = 0,1423L_{oa} - 0,4955;$$

– осадки корпусом

$$d_H = 0,0112L_{oa}^{1,509}.$$

Для визначення потужності головних двигунів на початкових етапах проектування можна скористатися залежністю, яка наведена на рис. 10.

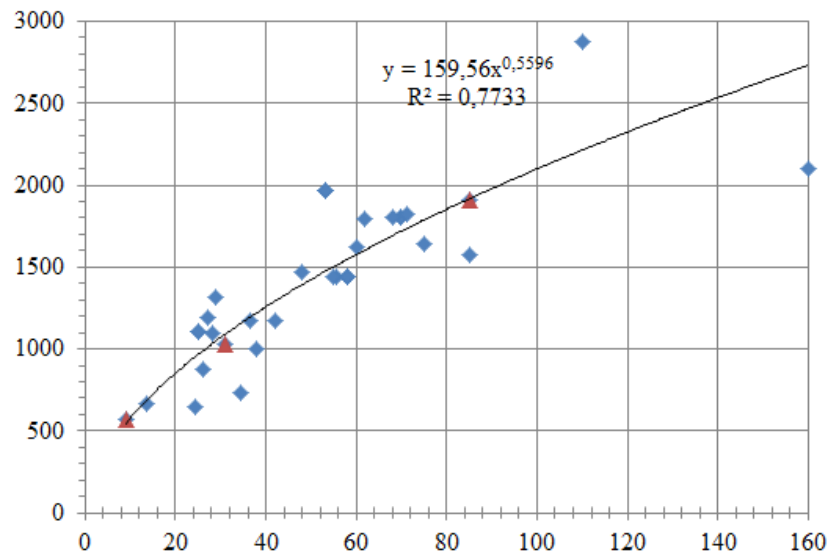


Рисунок 10 – Функціональна залежність потужності головних двигунів від повної водотоннажності катамарану

Розрахунок водотоннажності судна порожнем на початкових етапах проектування WFSV катамаранного типу можна виконати за формулами, наведеними на рис. 11.

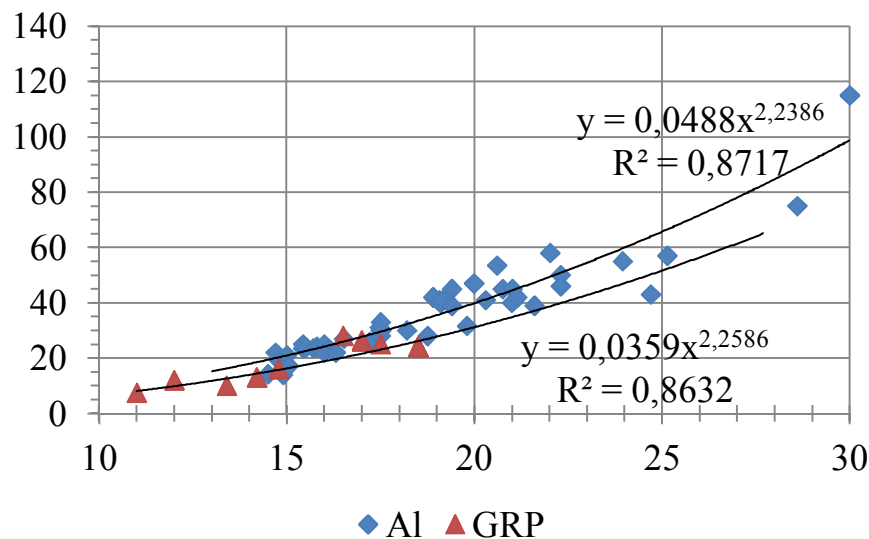


Рисунок 11 – Залежність водотоннажності порожнем від  $L_{oa}$  для різних типів матеріалів

Для визначення інших характеристик WFSV можна скористатися залежностями, що застосовуються в малому суднобудуванні при проектуванні катамаранів [5, 6].

**Висновки.** Проведений автором аналіз характеристик WFSV показав, що при проектуванні ключовими аспектами, які потрібно враховувати при проектуванні суден даного типу, є гарна ходовість, висока морехідність в умовах схвильованого моря, малі витрати палива, комфорт та надійність. Для розрахунку головних розмірів суден, для доставки обслуговуючого персоналу катамаранного типу запропоновано формули, отримані із застосуванням методів регресійного аналізу.

При розробці перспективних проектів WFSV необхідно враховувати сучасні тенденції розвитку вітроенергетичних парків, а саме: збільшення кількості турбін у ВЕП, зростання потужності турбін та їх розмірів, віддаленість від берега. Уже зараз почали будувати судна з більшими розмірами та кількістю обслуговуючого персоналу. Активно

обговорюються і нові стратегії обслуговування. Якщо зараз основною стратегією є доставка обслуговуючого персоналу з берегової бази, то в перспективі розглядається можливість доставки персоналу зі спеціального судна-бази, або бази, розташованої безпосередньо у районі ВЕП. Все це дасть змогу заощадити час на доставку персоналу до місця ремонту.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Global Wind Report: Annual Market Update 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/03/GWEC\\_Global\\_Wind\\_2014\\_Report\\_R.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/03/GWEC_Global_Wind_2014_Report_R.pdf).
2. Dalgic, Y. Optimum CTV fleet selection for offshore wind farm O&M activities [Text] / Y. Dalgic, I. Dinwoodie, I. Lazakis, D. McMillan, M. Revie // Safety and Reliability: Methodology and Applications. – London : CRC Press, 2014. – P.1177-1185.
3. Jupp, M. XSS – A Next Generation Windfarm Support Vessel [Text] / M Jupp, R Sime and E Dudson // International Conference «Design & Operation of Wind Farm Support Vessels». – London, 29–30 January 2014. – London : The Royal Institution of Naval Architects , 2014. – 8 p.
4. Бондаренко О.В. Вибір проектних характеристик суден для доставки персоналу на шельфові вітропарки статистичним методом [Текст] / О.В. Бондаренко, А.П. Бойко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT–2014): Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції. – м. Херсон, 27–29 травня 2014 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2014. – С. 175-178.
5. Назаров, А. Особенности проектирования катамаранов. Часть 21. Обводы и мореходность [Текст] / А. Назаров // Катера и яхты. 2014. – № 6(252). – С. 72-75.
6. Назаров, А. Особенности проектирования катамаранов. Часть 2. Мореходность, управляемость, остойчивость [Текст] / А. Назаров // Катера и яхты. – 2015. – № 1(253). – С. 67-71.

### **REFERENCES**

1. Global Wind Report: Annual Market Update 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/03/GWEC\\_Global\\_Wind\\_2014\\_Report\\_R.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/03/GWEC_Global_Wind_2014_Report_R.pdf).
2. Dalgic, Y. Optimum CTV fleet selection for offshore wind farm O&M activities [Text] / Y. Dalgic, I. Dinwoodie, I. Lazakis, D. McMillan, M. Revie // Safety and Reliability: Methodology and Applications. – London : CRC Press, 2014. – P.1177-1185.
3. Jupp, M. XSS – A Next Generation Windfarm Support Vessel [Text] / M Jupp, R Sime and E Dudson // International Conference «Design & Operation of Wind Farm Support Vessels». – London, 29–30 January 2014. – London : The Royal Institution of Naval Architects , 2014. – 8 p.
4. Bondarenko O.V. Vibir proektnikh kharakteristik suden dlya dostavki personalu na sheljfovi vitroparki statistichnim metodom [Tekst] / O.V. Bondarenko, A.P. Boyjko // Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti (MINTT–2014): Materiali shostoï mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii. – m. Kherson, 27–29 travnya 2014 r. – Kherson : Khersonsjka derzhavna morsjka akademiya, 2014. – S. 175-178.
5. Nazarov, A. Osobennosti proektirovaniya katamaranov. Chastj 21. Obvodih i morekhodnostj [Tekst] / A. Nazarov // Katera i yakhtih. 2014. – № 6 (252). – S. 72-75.
6. Nazarov, A. Osobennosti proektirovaniya katamaranov. Chastj 2. Morekhodnostj, upravlyaemostj, ostoyjchivostj [Tekst] / A. Nazarov // Katera i yakhtih. – 2015. – № 1(253). – S. 67-71.

**Бондаренко А.В.** АНАЛИЗ ГЛАВНЫХ РАЗМЕРЕНИЙ И КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СУДОВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

*Собраны статистические данные по судам для доставки персонала на шельфовые ветроэнергетические установки (WFSV). Определены основные архитектурно-конструктивные типы WFSV, указаны основные требования, которые необходимо учитывать при проектировании судов указанного типа. Получены зависимости для определения основных характеристик WFSV на начальных этапах их проектирования.*

*Ключевые слова:* катамаран, WFSV, основные характеристики, анализ, ветроэлектростанция.

**Bondarenko O.V.** ANALYSIS OF THE PRINCIPAL DIMENSIONS AND DESIGN CHARACTERISTICS OF WIND FARM SUPPORT VESSELS

*The statistical data on the wind farm support vessels (WFSV) has been collected. The principal architectural and design types of WFSV are determined, the basic requirements that must be considered when designing vessels of this type are considered. The dependencies of the determination of the principal characteristics of WFSV in the early stages of their design are obtained.*

*Keywords:* catamaran, WFSV, principal characteristics, analysis, wind farm.

© Бондаренко О.В.

Статтю прийнято  
до редакції 28.05.15

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СУДНА С НЕРАБОТАЮЩИМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ ВЕТРОВОМ ДРЕЙФЕ В ЧЕРНОМ МОРЕ

*Годованюк С.П.*

*Херсонская государственная морская академия*

В статье показано, что от точки местоположения судна во время дрейфа при аварии с неработающим двигателем зависит эффективность поисково-спасательной операции. Рассмотрен ветровой дрейф судна, т. е. дрейф судна вследствие ветра. Поставлена задача определения исходной точки дрейфующего судна (для примера в зоне ответственности Украины на Черном море) от первоначального момента подачи сигнала бедствия «mayday» до точки нахождения судна по истечению определенного времени и сообщение о ней всем спасательным службам. Для расчета местоположения судна выдвинута математическая модель. Известно, что коэффициент скорости дрейфа судна под воздействием ветра зависящий от парусности судна и соотношения надводной и подводной боковой поверхности, для большинства судов равен 0,12 – 0,15, этот коэффициент использовался для нахождения скорости ветрового дрейфа судна. Расчетная точка нахождения судна через заданный промежуток времени определялась с использованием метода Монте-Карло. С учетом проведенного анализа и с надежностью 0,95 найдено, что судно при ветровом дрейфе через 10 часов окажется на определенном расчетном расстоянии.

**Ключевые слова:** авария, спасательная служба, ветровой дрейф, местоположение судна, правило «трех сигм», функция Лапласа, метод Монте-Карло, надежность, имитационное моделирование, среда Excel.

**Введение.** При плавании судно находится на границе двух сред – воздушной и водной, перемещение которых оказывает на него влияние.

Ветер, который представляет собой поступательное перемещение воздушных масс, определяется направлением и силой, тем самым оказывает влияние на судно, в зависимости от конструктивных особенностей. При развитых надстройках, избыточном надводном борте, небольшой осадке увеличиваются крен и дрейф судна.

В судовождении необходимо учитывать действие ветра на судно и определять его элементы, так как ветер создает дрейф судна (ветровой дрейф).

Для учета ветрового дрейфа необходимо знать прогноз ветра, который в частности может быть показан на карте, поэтому пользуются картами, построенными по данным прогностического центра NCEP/NOAA, США.

Для примера на рис. 1 представлен образец прогноза приземного ветра на Черном море в виде карты.

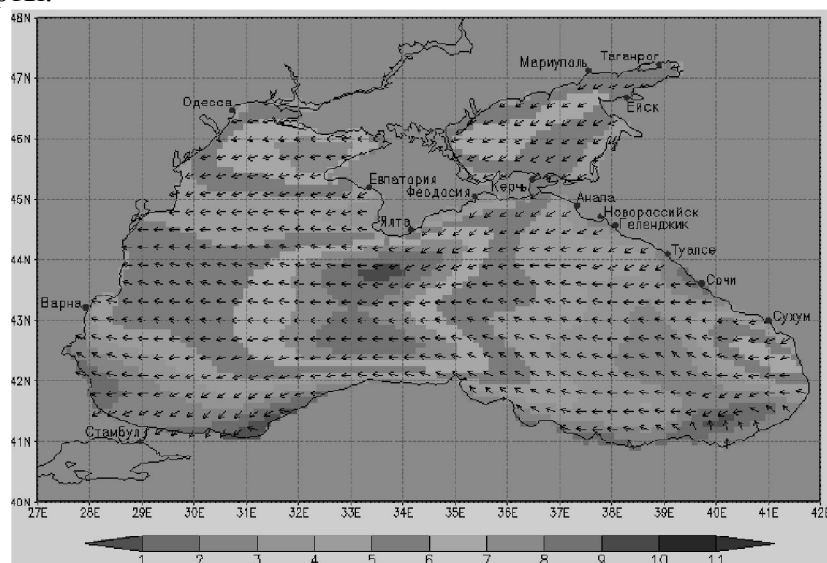


Рисунок 1 – Карта прогноза приземного ветра в Черном море

Карта обновляется ежедневно около 5 час 15 мин, что соответствует Всемирному скоординированному времени.

На карте представлены векторы скорости ветра (м/с) на высоте 10 м. Величина скорости характеризуется цветом, стрелками показано направление ветра.

**Постановка проблемы.** Предполагаем, что на судне находящимся в Черном море произошла авария – остановка двигателей и судно попадает во власть стихии, в ветровой дрейф в Черном море (в зоне ответственности Украины на Черном море), при этом естественно с течением времени изменяется местоположение судна. От точки местоположения судна во время дрейфа при аварии зависит поисково-спасательная операция.

Проблема судоводителя заключается в том, чтобы в любой момент знать местоположение своего дрейфующего судна от первоначального момента подачи сигнала бедствия «mayday» до точки нахождения судна по истечению определенного времени и сообщению своего местонахождения всем спасательным службам.

**Расчет местоположения судна.** Иногда судну приходится длительное время находиться в море с остановленными двигателями (ожидание светлого времени, неисправность двигателя, ожидание распоряжений и т. п.). При наличии ветра судно в данных обстоятельствах дрейфует с некоторой скоростью и с течением времени расстояние от точки аварии увеличивается.

Поэтому **целью данной работы** является определение расчетным путем расстояния пройденное судном при ветровом дрейфе через определенно заданное время.

Для расчета построили ниже описанную математическую модель.

Введем обозначения:

- $A$  – точка, начальное расположение судна в море в момент аварии (остановки двигателей);
- $\vec{V}$  – вектор скорости ветрового дрейфа судна в районе аварии, м/с;
- $V$  – численная величина скорости, м/с;
- $K_V$  – коэффициент скорости дрейфа судна под воздействием ветра.

Тогда скорость ветрового дрейфа судна  $V_{др}$  запишем:

$$V_{др} = K_V \cdot V.$$

Отметим, что ветер воздействует на надводную часть корпуса судна, на его надстройки с силой, отклоняющий судно.

Поэтому  $K_V$  зависит от парусности судна и соотношения надводной и подводной боковой поверхности.

Для большинства судов  $K_V = 0,12 - 0,15$  [1], т.е.  $K_V \in (0,12; 0,15)$ .

Как мы предположили, судно во время аварии, в момент остановленных двигателей, находилось в точке  $A$ , то в случае ветрового дрейфа судно через небольшой промежуток времени  $t$  после начала дрейфа может оказаться в какой-то точке  $B$ , от точки  $A$ , и в предположении, что коэффициент  $K_V = 0,12$ .

Следовательно, на одной прямой будут лежать два коллинеарных вектора (коллинеарный – лат. collineare – «метить, направлять»), имеющих одинаковые направления, т.е. они сонаправлены, сонаправленные векторы коллинеарны.

Таким образом,  $\overrightarrow{AB} \uparrow \vec{v}$ ,  $\vec{v}$  – единичный вектор, сонаправленный с вектором  $\vec{V}$ , а по модулю равный единице, т.е.  $|\vec{v}| = 1$ .

Тогда  $\overrightarrow{AB} = K_V \cdot V \cdot t \cdot \vec{v} = 0,12 \cdot V \cdot t \cdot \vec{v}$  или  $AB = 0,12 \cdot V \cdot t$ .

Аналогично, если судно под воздействием ветрового дрейфа окажется через промежуток времени  $t$  в точке D, от точки B и если взять  $K_V = 0,15$ , то  $\overline{AD} \uparrow \uparrow \vec{v}$  или  $AD = 0,15 \cdot V \cdot t$ .

Представим на рис. 2 дрейф судна от т. A до т. D с учетом т. B.



Рисунок 2 – дрейф судна от т. A до т. D

Далее будем считать, что судно, через определенный промежуток времени  $t$  после начала дрейфа окажется в т. N (расчетная точка). Очевидно, что эта точка с вероятностью близкой к 1 находится в интервале (B, D), рис. 3.

Расстояние, которое пройдет судно при дрейфе, есть случайная величина.

Действительно, расстояние зависит не только от ветра, но и многих других причин (силы и направления ветра, от парусности судна и соотношения надводной и подводной боковой поверхности и т.д.), которые не могут быть полностью учтены.

В математике пользуются числами, которые описывают случайную величину суммарно, такие числа называют числовыми характеристиками случайной величины. К числу важных числовых характеристик относится математическое ожидание.

Математическое ожидание приближенно равно среднему значению случайной величины. Математическое ожидание – число, вокруг которого сосредоточены значения случайной величины.

Предположим, что т. C является математическим ожиданием положения дрейфующего судна через промежуток времени  $t$ .

На рис. 3 т. C расположена в интервале (B; D) и является серединой интервала (B; D), следовательно  $\overline{AC} \uparrow \uparrow \vec{v}$ .



Рисунок 3 – Дрейф судна от т. A до т. D с учетом т. C и т. N

По правилу сложения векторов:

$$\overline{AC} = \frac{1}{2}(\overline{AB} + \overline{AD}) = \frac{1}{2}(0,12Vt + 0,15Vt)\vec{v} = \frac{1}{2}0,27 \cdot V \cdot t \cdot \vec{v} = 0,135 \cdot V \cdot t \cdot \vec{v}.$$

Таким образом, длина вектора  $\overline{AC}$  равна длине отрезка AC, т.е.:

$$AC = 0,135 \cdot V \cdot t.$$

Согласно рис. 3 положим  $|\overline{CN}| = x$ ; величина  $x$  является случайной, т.е. неизвестно, каким будет конкретное значение этой величины. Поскольку предположили, что величина  $x$  является случайной, то проанализируем и проведем вычисление, насколько эта случайная величина отклонится от математического ожидания.

Будем предполагать, что  $x$  подчиняется нормальному закону распределения. Если случайная величина распределена нормально, то абсолютная величина ее отклонения от математического ожидания не превосходит утроенного среднего квадратического отклонения, что является правилом 3-х  $\sigma$  («трех сигм») [2]. Сигмой ( $\sigma$ ) в статистическом анализе обозначают стандартное отклонение.

Естественно предположить, что  $BC = CD = 3\sigma$ .

Пользуясь сценарием как в [2] проанализируем вероятность того, что отклонение нормально распределенной случайной величины  $X$  от ее математического ожидания

$a$  по абсолютной величине меньше заданного положительного числа  $\varepsilon$ , требуется найти вероятность осуществления неравенства  $|X - a| < \varepsilon$ , где  $a = M(X)$  – математическое ожидание нормального распределения.

Заменим это неравенство  $|X - a| < \varepsilon$  равносильным ему двойным неравенством

$$-\varepsilon < X - a < \varepsilon, \text{ или } a - \varepsilon < X < a + \varepsilon.$$

Поскольку  $X$  распределена по нормальному закону, то принимает значение, принадлежащее интервалу:  $X \in (\alpha; \beta)$ .

Воспользуемся формулой вероятности попадания в заданный интервал  $(\alpha; \beta)$  и пользуясь функцией ошибок – функцией Лапласа  $\Phi(u)$

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{z^2}{2}} dz,$$

(отметим, что это уравнение в явном виде неразрешимо и поэтому ниже будем пользоваться таблицей – значений функции Лапласа) получим,

$$P(\alpha < X < \beta) = \Phi\left(\frac{\beta - a}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - a}{\sigma}\right).$$

Тогда

$$\begin{aligned} P(|X - a| < \varepsilon) &= P(a - \varepsilon < X < a + \varepsilon) = \Phi\left[\frac{(a + \varepsilon) - a}{\sigma}\right] - \Phi\left[\frac{(a - \varepsilon) - a}{\sigma}\right] = \\ &= \Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) - \Phi\left(-\frac{\varepsilon}{\sigma}\right). \end{aligned}$$

Поскольку функция Лапласа является нечетной, т.е.

$$\Phi\left(-\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) = -\Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right),$$

окончательно получим

$$P(|X - a| < \varepsilon) = 2\Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right).$$

Введем обозначение

$$u = \frac{\varepsilon}{\sigma}, \quad \varepsilon = u\sigma.$$

Тогда получим:

$$P(|X - a| < u\sigma) = 2\Phi(u).$$

Если  $u = 3$ , то

$$P(|X - a| < 3\sigma) = 2\Phi(3).$$

Для нахождения значений интегральной функции Лапласа воспользуемся фрагментом таблицы [3].

Таблица 1 – Значения интегральной функции Лапласа

| $t$  | $\Phi(u)$ | $u$  | $\Phi(u)$ | $u$  | $\Phi(u)$ | $u$  | $\Phi(u)$ | $u$  | $\Phi(u)$ | $u$  | $\Phi(u)$ |
|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|
| 0,00 | 0,0000    | 0,50 | 0,1915    | 1,00 | 0,3413    | 1,50 | 0,4332    | 2,00 | 0,4772    | 3,00 | 0,49865   |

Используя табл. 1 значений функции Лапласа, получим:

$$P(|X - a| < 3\sigma) = 2\Phi(3) = 2 \cdot 0,49865 = 0,9973.$$

Таким образом, вероятность того, что отклонение случайной величины от математического ожидания по абсолютной величине будет меньше утроенного среднего квадратического отклонения, равна 0,9973.

Другими словами, вероятность того, что абсолютная величина отклонения случайной величины от математического ожидания превысит утроенное среднее квадратическое отклонение, очень мала, а именно равна  $0,0027 = 1 - 0,9973$ . Это означает, что лишь в 0,27 % случаев такое может произойти. Такие события, исходя из принципа невозможности маловероятных событий, можно считать, практически невозможными. В этом и состоит сущность правила трех сигм: если случайная величина распределена нормально, то абсолютная величина ее отклонения от математического ожидания не превосходит утроенного среднего квадратического отклонения.

Вероятность того, что случайная величина отклонится от своего математического ожидания на большую величину, чем утроенное среднее квадратичное отклонение, практически равна нулю.

Следовательно, предположение того, что судно после остановки двигателей в результате ветрового дрейфа будет находиться в интервале (B, D), соответствует вероятности  $2\Phi(3) = 0,9973$  (рис. 3).

Отсюда естественно предположить  $BC = CD = 3\sigma$ .

На рис. 3  $BC = CD$ , а  $\overline{BC} = \overline{AC} - \overline{AB} = 0,135Vt\vec{v} - 0,12Vt\vec{v} = 0,015V \cdot t \cdot \vec{v}$  или  $|\overline{BC}| = BC = |0,015V \cdot t| \cdot |\vec{v}| = 0,015 \cdot V \cdot t$ .

Тогда

$$3\sigma = 0,015 \cdot V \cdot t, \text{ а } \sigma = 0,005 \cdot V \cdot t.$$

Возвращаемся к обсуждению положения точки N (рис. 3), в которой окажется судно через определенный промежуток времени  $t$  с после остановки двигателей (потерпевшее аварию).

Для определения положение точки N применим метод Монте-Карло [4]. Метод Монте-Карло широко используется для решения задач, имеющих вероятностную постановку, в тоже время метод Монте-Карло определяется как численный метод решения задач статистического моделирования случайных величин с целью вычисления характеристик их распределений. Как правило, моделирование осуществляется с помощью компьютерных программ.

Для использования в нашей задаче метод Монте-Карло разобьем интервал (B; D) на  $2k$  частичных интервала одинаковой длины  $l$ .

Величину  $l$  будем в дальнейшем определять, исходя из гарантированной возможности визуального обнаружения потерпевшего аварию судна на расстоянии  $0,5 l$ . Численное значение  $l$  зависит от времени суток и от возможностей оптических и радиолокационных приборов, имеющихся в распоряжении спасателей.

Длина каждого частичного интервала будет равна:  $\frac{BD}{2k}$ .

Поскольку  $BD = AD - AB$  (рис. 2), то  $BD = 0,15Vt\vec{v} - 0,12Vt\vec{v} = 0,03 \cdot V \cdot t \cdot \vec{v}$ .

Следовательно,  $BD = |\overline{BD}| = 0,03 \cdot V \cdot t$ , а  $\frac{BD}{2k} = \frac{0,03 \cdot V \cdot t}{2k}$ .

Тогда согласно выше сформулированному требованию  $\frac{BD}{2k} = \frac{0,03 \cdot V \cdot t}{2k} \leq 0,5 \cdot l$ .

Отсюда следует  $k \geq \frac{0,03 \cdot V \cdot t}{l}$ .

Для получения числовых значений рассмотрим пример.

Предположим, что судно потерпело аварию в Черном море. В зимний период над всем пространством Черного моря средняя скорость ветра составляет  $V = |\vec{V}| = 8 \div 10$  м/с [5]. Для данного примера считаем, что в районе, где потерпело аварию судно скорость, ветра  $V = |\vec{V}| = 8$  м/с.

Пусть  $t$  – промежуток времени, по прошествии которого к месту нахождения потерпевшего аварию судна, может прибыть спасательное судно, равен 10 часам, т.е.  $t = 36000$  с.

При нормальной видимости в дневное время можно положить  $l = 1000$  м.

В соответствии с примером получим:

$$k \geq \frac{0,03 \cdot 8 \cdot 3600}{1000} = 8,64.$$

В дальнейшем использовании  $k$  положим  $k = 9$  (для удобства вычислений), тогда  $2k = 18$ .

Таким образом, на основании выше полученного, в соответствии с методом Монте-Карло [6], разобьем интервал  $(0; 1)$  на  $2k = 18$  частей равных по длине частей, рис. 4.

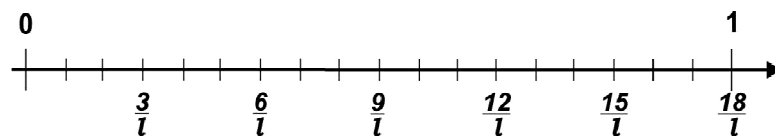


Рисунок 4 – Распределение интервала  $(0; 1)$  на 18 частей

Тогда  $(0; 0,055)$ ;  $(0,055; 0,111)$ ;  $(0,111; 0,167)$ ;  $(0,167; 0,222)$ ;  $(0,222; 0,278)$ ;  $(0,278; 0,333)$ ;  $(0,333; 0,389)$ ;  $(0,389; 0,444)$ ;  $(0,444; 0,5)$ ;  $(0,5; 0,556)$ ;  $(0,556; 0,611)$ ;  $(0,611; 0,667)$ ;  $(0,667; 0,722)$ ;  $(0,722; 0,778)$ ;  $(0,778; 0,833)$ ;  $(0,833; 0,889)$ ;  $(0,889; 0,944)$ ;  $(0,944; 1)$ .

Обозначим все 18 частей распределенного интервала  $(0; 1)$  через  $(1)$ .

Этому разбиению интервала  $(0; 1)$  соответствует разбиение интервала  $BD$  на 18 частичных интервалов.

Пусть  $\delta$  – верхняя граница ошибки, т.е. самое большое возможное расстояние между истинным положением судна и положением рассчитанным по методу Монте-Карло. Обозначим через  $\gamma$  надежность, т.е. близкую к единице вероятность попадания случайной величины в заданный интервал. В качестве  $\gamma$ , в зависимости от серьезности последствий принимаемых решений, берут значения уровня достоверности  $\gamma = 0,95$ ,  $\gamma = 0,99$ ,  $\gamma = 0,999$ . В данной задаче в качестве  $\gamma$  обычно рассматривают значение  $\gamma = 0,95$ .

Среди методов оценки достоверности различают параметрические и непараметрические. Параметрическими называют количественные методы статистической обработки данных, применение которых требует обязательного знания закона распределения изучаемых признаков в совокупности и вычисления их основных параметров. При проведении выборочных исследований полученный результат не обязательно совпадает с результатом, который мог бы быть получен при исследовании всей совокупности.

С надежностью  $\gamma$  верхнюю границу ошибки  $\delta$  можно вычислить по формуле:

$$\delta = \frac{u\sigma}{\sqrt{n}},$$

как средняя ошибка средней арифметической величины, где  $u$  – значение аргумента функции Лапласа, при котором  $\Phi(u) = \frac{\gamma}{2}$ ,  $n$  – число испытаний (разыгранных значений  $x$ ),  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение.

Если в качестве надежности  $\gamma$  рассматривать число  $\gamma = 0,95$ , то по таблице значений функции Лапласа из условия  $\Phi(u) = 0,475$  находим  $u = 1,96$ .

Отсюда следует, что наименьшее число испытаний, которое гарантирует заданную верхнюю границу ошибки  $\delta$  равно  $n$ :

$$n = \frac{u^2 \sigma^2}{\delta^2}.$$

Так как:  $u = 1,96$ ;  $\sigma = 0,005 \cdot V \cdot t = 0,005 \cdot 8 \cdot 36000 = 1440$  м;  $\delta = 500$  м, то  $n = \frac{\tau^2 \sigma_1^2}{\delta_1^2} = \frac{1,96^2 \cdot 1440^2}{500^2} = 1,96^2 \cdot \left(\frac{1440}{500}\right)^2 = 3,8416 \cdot 2,88^2 = 3,8416 \cdot 8,2944 = 31,86$ .

Положим  $n = 32$ . Так как, в работе имитируются случайные величины, то в среде Excel имитационный процесс осуществляется в условиях правдоподобных предположений о законах распределения случайных величин. Статистическая обработка данных, полученных в результате имитационного процесса, позволяет сделать вывод о целесообразности использования случайных величин.

Для реализации процесса имитационного моделирования с помощью средств Excel важнейшую роль играет функция СЛЧИС, которая является датчиком случайных чисел. При каждом обращении к ней генерируется новое случайное число (значение равномерно распределенной на отрезке  $[0; 1]$  случайной величины). С помощью данной функции можно осуществить имитацию любой непрерывной или дискретной случайной величины. Каждое обращение к функции СЛЧИС порождает одну реализацию имитационного процесса. На практике ячейка электронной таблицы среды Excel, в которую помещена функция СЛЧИС, копируется нужное число раз. Найдем с помощью датчика случайных величин в среде Excel  $n = 32$  чисел из интервала  $(0; 1)$ .

В табл. представим результаты имитационного моделирования, полученные в среде Excel.

Таблица 2 – Результаты имитационного моделирования

|           | Случайное число<br>(СЛЧИС) |    | Случайное число<br>(СЛЧИС) |            | Случайное число<br>(СЛЧИС) |
|-----------|----------------------------|----|----------------------------|------------|----------------------------|
| 1         | 0,505797                   | 12 | 0,691958                   | 23         | 0,141283                   |
| 2         | 0,656681                   | 13 | 0,315633                   | 24         | 0,8966                     |
| 3         | 0,19151                    | 14 | 0,337422                   | 25         | 0,311437                   |
| 4         | 0,232846                   | 15 | 0,0573                     | 26         | 0,512243                   |
| 5         | 0,464485                   | 16 | 0,139904                   | 27         | 0,026467                   |
| 6         | 0,84099                    | 17 | 0,735419                   | 28         | 0,214898                   |
| 7         | 0,247316                   | 18 | 0,404463                   | 29         | 0,884702                   |
| 8         | 0,634491                   | 19 | 0,12811                    | 30         | 0,813493                   |
| 9         | 0,582016                   | 20 | 0,424882                   | 31         | 0,882372                   |
| 10        | 0,520991                   | 21 | 0,36547                    | 32         | 0,704152                   |
| 11        | 0,984905                   | 22 | 0,797381                   | $\sum x_i$ | 15,64462                   |
| $\bar{x}$ | 0,488994                   |    |                            |            |                            |

Получили величину  $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{32} = 0,488994$ .

Обращаясь к результатам распределения интервала  $(0;1)$  на 18 частей, т.е. которое ранее обозначили (1) видим, что в обоих случаях величина  $\bar{x} = 0,488994$  находится в промежутке  $(0,444; 0,5)$ .

В заключение, возвращаясь к рис. 3 и зная, что расстояние

$$AB = 0,12 \cdot V \cdot t = 0,12 \cdot 10 \cdot 14400 = 17280 \text{ м.}$$

$$AD = 0,15 \cdot V \cdot t = 0,15 \cdot 10 \cdot 14400 = 21600 \text{ м.}$$

$$AC = \frac{1}{2}(AB + AD) = \frac{1}{2}(17280 + 21600) = \frac{1}{2} \cdot 38880 = 19440 \text{ м.}$$

Находим

$$BN = BD \cdot \bar{x} = (AD - AB) \cdot \bar{x} = (21600 - 17280) \cdot 0,474507 = 4320 \cdot 0,474507 = 2050 \text{ м.}$$

Отсюда следует, что

$$NC = BC - BN = (AC - AB) - BN = (19440 - 17280) - 2050 = 2160 - 2050 = 110 \text{ м.}$$

Таким образом, с определенной погрешностью, ветровой дрейф судна составит:

$$AN = AB + BN = 17280 + 2050 = 19330 \text{ м,}$$

с учетом того, что в районе, где потерпело аварию судно скорость ветра составляла  $V = |\vec{V}| = 8 \text{ м/с}$ , а время дрейфа до прибытия спасательного судна в точку нахождения судна потерпевшего аварию составило 10 часов, т.е.  $t = 36000 \text{ с}$ .

**Выводы.** После аварии (с остановленными двигателями) судно при ветровом дрейфе окажется через 10 часов в точке N для которой расстояние  $AN = 19330 \text{ м}$ , что является расчетным расстоянием. Дальнейшая работа будет сводиться к определению местоположения судна с неработающим двигателем (потерпевшим аварию) при ветровом дрейфе и воздействии течения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бень А. П. Выход в исходную точку поиска в кратчайшее время при осуществлении поисково-спасательных операций / А. П. Бень, В. Н. Плющ // Науковий вісник ХДМА. – 2010. – № 1(2). – С. 24-35.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М. : Высш. шк., 2003. – 479 с.
3. Таблица значений функции Лапласа. [natalymath.ru/laplas.html](http://natalymath.ru/laplas.html).
4. Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло / И. М. Соболев. – М. : Наука, 1973. – 312 с.
5. Стехновский Д. И. Навигационная гидрометеорология : учебник / Д. И. Стехновский, А. Е. Зубков, Ю. С. Петровский. – М. : Транспорт, 1971. – 280 с.
6. Савелова Т. И. Метод Монте-Карло : учеб. пособ. / Т. И. Савелова. – М., 2011. – 150 с.

## REFERENCES

1. Benj A. P. Vihkhod v iskhodnuyu tochku poiska v kratchayjshee vremya pri osuthestvlenii poiskovo-spasatel'nykh operatsiy / A. P. Benj, V. N. Plyuth // Naukoviy visnik KhDMA. – 2010. – № 1(2). – S. 24-35.
2. Gmurman V. E. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika : ucheb. posobie dlya vuzov / V. E. Gmurman. – M. : Vihssh. shk., 2003. – 479 s.
3. Tablica znacheniy funktsii Laplasy. natalymath.ru/laplas.html.
4. Sobolj I. M. Chislenniye metodih Monte-Karlo / I. M. Sobolj. – M. : Nauka, 1973. – 312 s.
5. Stekhnovskiy D. I. Navigatsionnaya gidrometeorologiya : uchebnik / D. I. Stekhnovskiy, A. E. Zubkov, Yu. S. Petrovskiy. – M. : Transport, 1971. – 280 s.
6. Savelova T. I. Metod Monte-Karlo : ucheb. posob. / T. I. Savelova. – M., 2011. – 150 s.

### **Годованюк С.П.** ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ СУДНА З НЕПРАЦЮЮЧИМ ДВИГУНОМ ПРИ ВІТРОВОМУ ДРЕЙФІ У ЧОРНОМУ МОРІ

*У статті показано, що від точки місця розташування судна під час дрейфу при аварії з непрацюючим двигуном залежить ефективність пошуково-рятувальної операції. Розглянутий вітровий дрейф судна, тобто дрейф судна внаслідок дії вітру. Поставлене завдання: визначення вихідної точки дрейфуючого судна (для прикладу в зоні відповідальності України на Чорному морі) від первісного моменту подачі сигналу лиха «таудей» до точки знаходження судна по закінченню певного часу та повідомлення про неї всім рятувальним службам. Для розрахунків місця розташування судна висунута математична модель. Відомо, що коефіцієнт швидкості дрейфу судна під впливом вітру залежить від парусності судна та співвідношення надводної і підводної бічної поверхні, для більшості суден рівний 0,12 – 0,15. Цей коефіцієнт використовується для знаходження швидкості вітрового дрейфу судна. Розрахункова точка знаходження судна через заданий проміжок часу визначається з використанням методу Монте-Карло. З урахуванням проведеного аналізу та з надійністю 0,95 вираховано, що судно при вітровому дрейфі через 10 годин виявиться на певній розрахунковій відстані.*

*Ключові слова: аварія, рятувальна служба, вітровий дрейф, місце розташування судна, правило «трьох сигм», функція Лапласа, метод Монте-Карло, надійність, імітаційне моделювання, середовище Excel.*

### **Godovaniuk S.P.** DETERMINATION OF THE WHEREABOUTS OF A SHIP WITH THE BROKEN ENGINE DURING THE WIND DRIFT IN THE BLACK SEA

*The article shows that the position of the vessel during the drift with a broken engine depends on the efficiency of the search and rescue operation. The author described the drift of the vessel itself or the drift of the vessel due to the action of the wind. The task of the author is to determine the starting point of the drifting vessel (for example in the Ukrainian waters in the Black Sea) from the original filing distress «mayday» to the position of the ship in a certain period of time and a message about a ship to all the emergency services. To calculate the ship's position the author uses a mathematical model. It is known that the ratio of the drift velocity vessel under the influence of the wind depends on the sailing boat and the ratio of surface and underwater lateral surface for most of the courts is 0.12 – 0.15. This ratio is used to find the speed of the wind drift vessel. The Designed point of the ship in a specified period of time is determined by using the Monte Carlo method. Taking into account the analysis and the reliability of 0,95 it is found that the vessel is in the wind drift during 10 hours will be calculated at a certain distance.*

*Key words: accident, rescue service, wind drift, the ship's position, the rule of «three sigma» function Laplace, Monte Carlo method, reliability, simulation, Excel.*

© Годованюк С.П.

Статтю прийнято  
до редакції 6.05.15

## АНАЛИЗ ВЕКТОРА СМЕЩЕНИЯ ПУТИ СУДНА ОТ ВЕТРА

Голиков В.В., Мальцев С.Э.

Одесская национальная морская академия

*Предложенный алгоритм определения связанных векторов сложного движения судна при счислении создает предпосылки к максимальному повышению информативности о процессе за счет детерминизации алгоритмов планирования траектории перемещения судов, включая их маневрирование.*

*Реализация и внедрение в практику штурманской работы векторного способа счисления и планирования пути в зависимости от возмущений повышает точность и информативность систем управления судном.*

*Рассмотренная блок-схема представляет интерес для построения навигационного устройства по маневрированию судна в стесненных условиях.*

*Ключевые слова: вектор смещения от ветра, сложное движение, информативность процесса счисления.*

**Постановка проблемы в общем виде.** Обычно счисление пути начинается с момента, когда судно вышло из порта и направляется в первую путевую точку. При отсутствии течения, ветра и волнения его линия пути совпадает с линией истинного курса (ИК). Смещение судна может происходить только за счет несимметричного рыскания и погрешности в оценке поправки компаса  $\Delta K$ . Под действием упора винта судно получает перемещение относительно воды по направлению  $ИК$ . Если водная поверхность подвижна относительно Земли, то скорость сложного движения судна определяется связанным вектором абсолютной скорости ( $\bar{V}_{связ}$ ) судна равным сумме векторов переносной (плановой)  $\bar{V}_0$  и относительной скорости  $\bar{V}_{отн}$  (векторами сноса ветром  $\bar{V}_{ветр}$ , течением  $\bar{V}_т$  и волнением  $\bar{V}_{вол}$ ).

При движении судна в условиях ветра, кроме бокового смещения, создается усилие вдоль ДП, увеличивая или уменьшая его переносную скорость. Эти изменения учитываются относительным лагом, поэтому отдельно этот факт не учитывают, а изменяют курс на величину угла ветрового дрейфа.

При векторном описании процесса движения и определении места судна относительно Земли такой подход приводит к погрешностям, которые в стесненных условиях и при плавании по каналам и фарватерам недопустимы. Требуется подход, при котором судоводитель сможет управлять процессом движения более точно и безаварийно.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Выполненный анализ аварийности в районе БДЛК и ХМК за последние 25 лет, результаты которого приведены в работах [1, 2], показал, что аварийные происшествя происходят из-за несогласованности параметров движения судна с ситуационной восприимчивостью судоводителя и отсутствия механизма своевременного счисления параметров заданного пути и отдачи команд на корректировку движения.

Известные способы [3] определения отклонения судна от линии заданного пути при плавании в стесненных условиях не информативны из-за множества причин вызвавших это отклонение и дефицита времени на принятие решения. Создается благоприятная ситуация для наступления аварийного события.

Основным способом повышения точности управления движением судна [4] является высокоточное планирование траектории по подробным данным о маневренных свойствах судна. Однако этот способ прогностического характера основан на эмпирике ограничительного характера и требует постоянных уточнений при счислении пути.

Предложения по созданию концепции системы управления судном содержатся в работе [5], однако алгоритмы и способы автоматизации обработки информации не

рассмотрены.

**Постановка задачи.** Целью данного исследования является повышение информативности процесса счисления пути судна путем использования кинематических законов сложного движения.

**Изложение материала исследования.** В системе координат судна  $XGY$  при появлении внешних ветровых возмущений в воздушном и водяном потоке надводная и подводная часть корпуса судна ведет себя, как крыло предельно малого удлинения, с двумя характерными свойствами. Точка приложения силы смещается к передней кромке по ходу движения, а ее направление стремится по нормали к поверхности (рис. 1). Характеристика влияния ветра на корпус судна определяется величинами скорости кажущегося ветра  $W$  и курсового угла  $q_w$ .

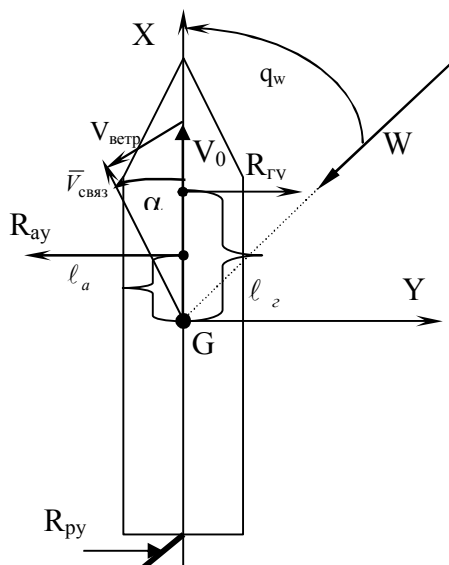


Рисунок 1 – Действие кажущегося ветра на судно

Под действием ветра происходит боковое (относительное) перемещение судна со скоростью  $\vec{V}_{\text{ветр}}$  за счет аэродинамической силы  $R_{ay}$  с плечом  $\ell_a$ . При этом возникает сложное движение с углом ветрового дрейфа  $\alpha$  и судно перемещается с абсолютной скоростью  $\vec{V}_{\text{связ}} = \vec{V}_0 + \vec{V}_{\text{ветр}}$ .

Плечо аэродинамической силы (в длинах корпуса) определяют по приближенной формуле К. К. Федяевского:

$$\bar{\ell}_a = 0,5 + \frac{\ell_{\text{цп}}}{L} - \frac{q_w^0}{360^\circ}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина судна между перпендикулярами, м;  $\ell_{\text{цп}}$  – расстояние центра парусности (ЦП) от мидель-шпангоута, м;  $q_w^0$  – курсовой угол кажущегося ветра, в градусах.

В формуле (1) плечо аэродинамической силы имеет знак «+», если ЦП смещен в нос от миделя и знак «-» при его смещении в корму. Следует заметить, что расположение ЦП по длине судна зависит от размеров и расположения надстроек, дифферента судна и его осадки. Эти данные обычно рассчитывают при постройке судна, и они имеются в судовых документах.

Таким образом, на судно действует аэродинамическая сила, момент которой  $M_a = R_{ay} \cdot \ell_a$  стремится развернуть судно относительно вертикальной оси лагом к ветру и, который компенсируется рулем.

В работе [6] уравнение, пригодное для практического использования в автоматизированных системах и при расчете углов дрейфа на судне, предложено использовать в следующем виде:

$$\operatorname{tg} \alpha = -0,11 + \sqrt{0,0121 + K_{\alpha}^2 \cdot (W/V_0)^2 \cdot \sin q_w}, \quad (2)$$

где  $K_{\alpha}$  – коэффициент боковой силы, определяемой по формуле:

$$K_{\alpha} = (0,16 \delta_{OP} - 0,5 \cdot T_{cp} / L) \cdot \sqrt{S_H / S_{\Pi}}; \quad (3)$$

$\delta_{OP}$  – коэффициент общей полноты, отн.ед;  $T_{cp}$  – средняя осадка, м;  $S_H$  – площадь проекции надводной части корпуса судна на ДП, м<sup>2</sup>;  $S_{\Pi}$  – площадь проекции подводной части корпуса судна на ДП, м<sup>2</sup>.

При воздействии ветра возникает сопутствующее волнение, которое по направлению обычно совпадает с направлением ветра. Под действием волнения происходит дополнительное перемещение со скоростью  $\bar{V}_{вол}$  за счет гидродинамической силы  $R_{вол}$  с плечом  $\ell_{вол}$  [2].

По методике определения безразмерных коэффициентов волновых сил [7] по осям  $X(C_x^w)$ ,  $Y(C_y^w)$  и момента  $C_m^w$  используются следующие эмпирические зависимости:

$$C_x^w = 0,062 \cdot \frac{B}{T_{cp}} - 0,0085 \cdot \frac{L}{T_{cp}} + 0,328 \cdot \delta_{оп}, \quad (4)$$

$$C_y^w = 0,0823 \cdot \frac{L}{B} + 2,56 \cdot \frac{T_{cp}}{L} + 0,903 \cdot \delta_{оп}^2, \quad (5)$$

$$C_m^w = 0,15 \cdot \delta_{оп} + 0,197 \cdot \delta_{оп}^2 - 0,00373 \cdot \frac{L}{T_{cp}}, \quad (6)$$

где  $B$  – ширина судна. Эмпирические зависимости (4) – (6) справедливы при изменении главных размеров в следующих диапазонах:

- отношение длины к осадке  $10,0 < \frac{L}{T_{cp}} < 23,0$ ;
- отношение ширины к осадке  $1,0 < \frac{B}{T_{cp}} < 3,7$ ;
- отношение длины к ширине  $5,0 < \frac{L}{B} < 12,0$ ;
- коэффициент общей полноты  $0,6 < \delta_{оп} < 0,8$ .

Величины составляющих волновой силы  $X_w, Y_w$  и момента  $M_w$  при нерегулярном волнении определяются по частотному составу последовательности регулярных волн:

$$X_w = C_x^w \cdot (0,1 - \cos q_w) \cdot \rho \cdot g \cdot L \cdot \left(\frac{h_{3\%}}{2}\right)^2 \cdot e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \cdot \left(1 + A_1 \frac{V_{вол}}{V_w}\right), \quad (7)$$

$$Y_w = C_y^w \cdot \sin q_w \cdot \rho \cdot g \cdot L \cdot \left(\frac{h_{3\%}}{2}\right)^2 \cdot e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \cdot \left(1 + A_1 \frac{V_{вол}}{V_w}\right), \quad (8)$$

$$M_w = C_m^w \cdot \frac{\sin(2 \cdot q_w)}{1 + \frac{\pi \cdot |q_w|}{\pi}} \cdot \rho \cdot g \cdot L^2 \cdot \left(\frac{h_{3\%}}{2}\right)^2 \cdot e^{-A_0 \frac{\lambda}{L}} \cdot \left(1 + A_1 \frac{V_{вол}}{V_w}\right), \quad (9)$$

где  $q_w$  – курсовой угол бега волн, град;  $A_0$  – эмпирический коэффициент, учитывающий соотношение длины волны и судна (рекомендуется принимать  $A_0 = 3,3$ );  $A_1$  – эмпирический коэффициент, учитывающий степень влияния скорости движения

судна на силы от волнения  $A_1 \in [1,0; 8,5]$ ;  $\lambda$  – длина регулярной волны;  $V_{\text{вол}}$  – составляющая скорости движения судна вдоль направления бега волн;  $V_w$  – скорость бега волн.

Величина плеча силы волновой природы  $\ell_{\text{вол}}$  определяется путем деления (9) на (8):

$$\ell_{\text{вол}} = \frac{C_m^w}{C_y^w} \cdot \frac{\sin(2q_w)}{2-q_w/\pi} \cdot L. \quad (10)$$

Более точных зависимостей для определения вектора скорости сноса судна от волнения не обнаружено. В работе [2] приведена формула для расчета скорости дрейфа, однако ветровая и волновая составляющие в ней не разделены.

Скорость установившегося дрейфа судна определяется по эмпирической формуле:

$$V_{\text{др}} \approx K_{\text{др}} \cdot W_{\text{и}} = -0,014 + 0,049 \cdot W_{\text{и}}, \quad (11)$$

где  $V_{\text{др}}$  – скорость ветрового дрейфа, узлы;  $K_{\text{др}}$  – коэффициент дрейфа, определяемый из натурных наблюдений свободного дрейфа, для состояния конкретного судна в грузу или в балласте;  $W_{\text{и}}$  – скорость истинного ветра, м/с.

В мореходных таблицах МТ-2000 приведена эмпирическая зависимость  $V_{\text{др}} = 1,94 \cdot K_{\alpha} \cdot W_{\text{и}}$ , где  $V_{\text{др}}$  – суммарная скорость от ветрового дрейфа и волнения, узлы,  $K_{\alpha}$  – коэффициент ветрового дрейфа. Анализ последней формулы показывает на ее применимость в диапазоне  $W_{\text{и}} \in [3,0; 15 \text{ м/с}]$ .

В связи с отмеченным, предложен следующий алгоритм определения скорости совместного дрейфа от ветра и течения (рис. 2):

- шаг 1 – рассчитывают угол дрейфа  $\alpha$  по формуле (2);
- шаг 2 – определяют место судна, вектор  $\vec{V}_{\text{связ}}$  и величину угла сноса  $C$ ;
- шаг 3 – из навигационных пособий выбирают вектор течения  $\vec{V}_t$  и вычитают его из  $\vec{V}_{\text{связ}}$ , получая значение вектора  $\vec{V}_{\text{связ}1}$ ;
- шаг 4 – по значению  $\vec{V}_{\text{связ}1}$ ,  $\vec{V}_0$  и  $\alpha$  рассчитывают величину суммы векторов  $\vec{V}_{\text{вол}} + \vec{V}_{\text{ветр}}$ , значение которых необходимо для ведения счисления и планирования пути.

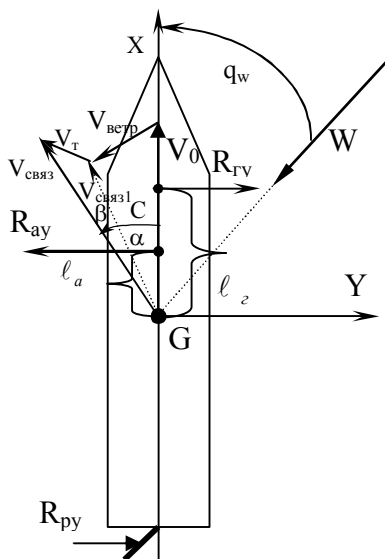


Рисунок 2 – Действие кажущегося ветра на судно

Блок-схема алгоритма автоматической оценки характера внешних воздействий приведена на рис. 3. Указанный алгоритм позволяет оперативно определять характер внешних воздействий на судно и учитывать их при планировании и управлении движением.

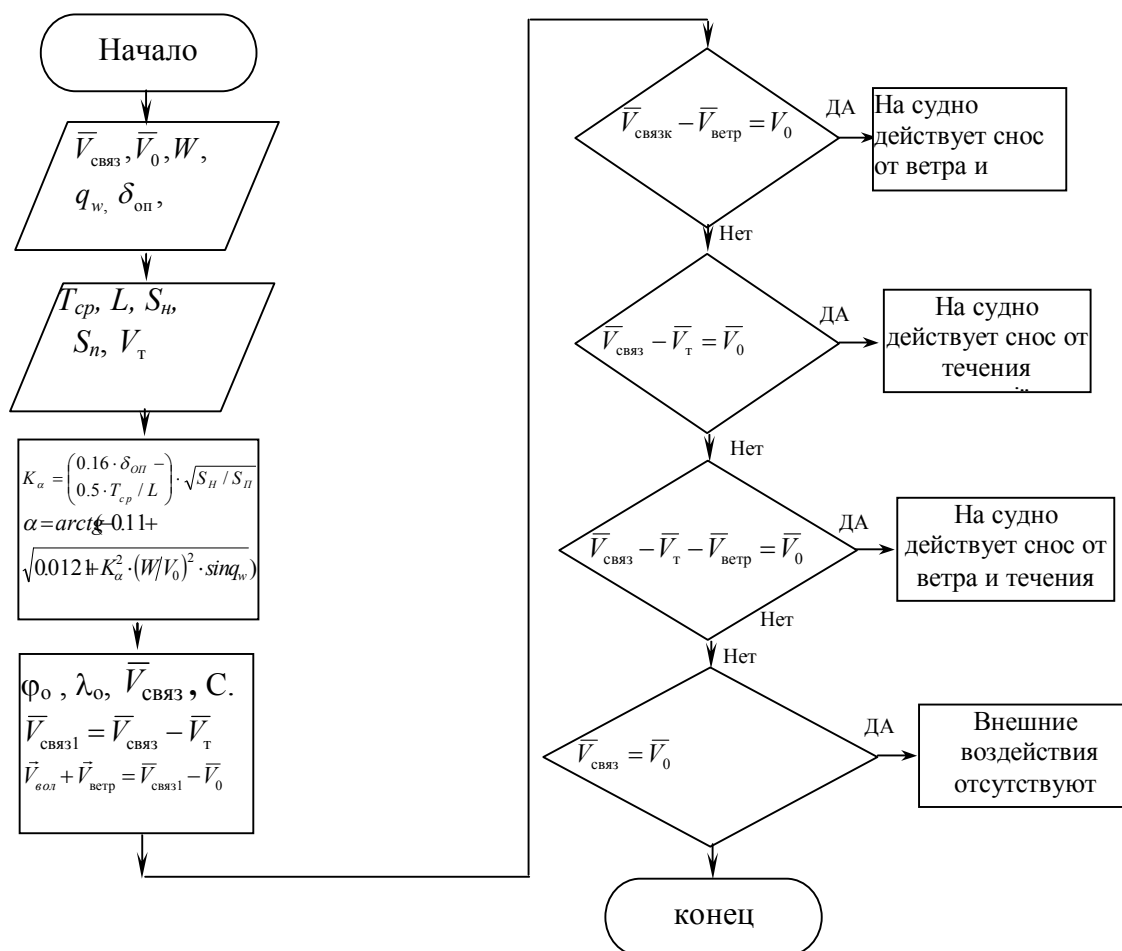


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма оценки характера внешних воздействий

### Выводы и предложения.

1. Предложенный способ определения векторов сложного движения судна в связанном виде наиболее достоверен и информативен, так как элементы векторов устанавливаются по натурным данным очередного счисления пути, а по результатам вычисления определяются не величина отклонения судна от заданного пути, а суммарный вектор фактического сноса судна.

2. Реализация и внедрение в практику штурманской работы векторного способа счисления пути позволяет на каждом этапе счисления вырабатывать управляющее воздействие адекватное возмущающим силам, что очень важно для системы управления судном, особенно задающих элементов

3. Предложенная блок-схема (рис. 3) может стать основой для выработки рекомендаций по маневрированию судна в стесненных условиях.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильский Г. Б. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов / Г. Б. Вильский, А. С. Мальцев, В. В. Бездольный, Е. И. Гончаров / Под ред. А. С. Мальцева, Г. Б. Вильского. – Одесса-Николаев : Феникс, 2007. – 456 с.
2. Мальцев А. С. Методологические основы маневрирования судов при

сближении. [текст] / А. С. Мальцев, В. В. Голиков, И. В. Сафин, В. В. Мамонтов. – Одесса : ОНМА, 2013. – 218 с.

3. Баранов Ю. К. Навигация / Ю. К. Баранов, М. И. Гаврюк, В. А. Логиновский, Ю. А. Песков. – СПб. : Лань, 1997. – 512 с.

4. Maltsev A. S. The Ways of Enhancing the Safety of Navigation. / A. S. Maltsev // Thesis of the third General Assembly of IAMU. – USA, Rock port, 2002. – P. 16-26.

5. Система керування рухом суден: деклараційний патент на корисну модель № 5127 Україна, МПК 7 G08G7/00, B63B43/00 / Бездольний В.В., Романов Г.С., Гончаров Є.І., Вільський Г.Б., Мальцев А.С. (Україна), № 20040705479; заявл. 07.07.2004; опубл. 15.02.2005, Бюл. № 2. – 5с.

6. Снопков В. И. Управление судном / В. И. Снопков // – Санкт-Петербург : АНО НПО «Профессионал», 2004. – 536 с.

7. Юрканский А. В. Исследование управляемости судов в условиях ветра и волнения: дис...канд. техн. наук.: 05.08.01. / Юрканский Александр Викторович – С.-Пет., 2005. – 118 с.

## REFERENCES

1. Viljskiyj G. B. Navigacionnaya bezopasnostj pri loemanskoj provodke sudov / G. B. Viljskiyj, A. S. Maljcev, V. V. Bezdoljnihiyj, E. I. Goncharov / Pod red. A. S. Malj-ceva, G. B. Viljskogo. – Odessa-Nikolaev : Feniks, 2007. – 456 s.

2. Maljcev A. S. Metodologicheskie osnovih manevrirovaniya sudov pri sbliizenii. [tekst] / A. S. Maljcev, V. V. Golikov, I. V. Safin, V. V. Mamontov. – Odessa : ONMA, 2013. – 218 s.

3. Baranov Yu. K. Navigaciya / Yu. K. Baranov, M. I. Gavryuk, V. A. Loginovskij, Yu. A. Peskov. – SPb. : Lanj, 1997. – 512 s.

4. Maltsev A. S. The Ways of Enhancing the Safety of Navigation. / A. S. Maltsev // Thesis of the third General Assembly of IAMU. – USA, Rock port, 2002. – P. 16-26.

5. Sistema keruvannya rukhom suden: deklaracijnij patent na korisnu modelj № 5127 Ukraїna, MPK 7 G08G7/00, V63V43/00 / Bezdoljniyj V.V., Romanov G.S., Goncharov Є.I., Viljskiyj G.B., Maljcev A.S. (Ukraine), № 20040705479; zayavl. 07.07.2004; opubl. 15.02.2005, Byul. № 2. – 5s.

6. Snopkov V. I. Upravlenie sudnom / V. I. Snopkov // – Sankt-Peterburg : ANO NPO «Professional», 2004. – 536 s.

7. Yurkanskiyj A. V. Issledovanie upravlyaemosti sudov v usloviyakh vetra i volneniya: dis...kand. tekhn. nauk.: 05.08.01. / Yurkanskiyj Aleksandr Viktorovich – S.-Pet., 2005. – 118 s.

**Голиков В.В., Мальцев С.Е.** АНАЛІЗ ВЕКТОРУ ЗМІЩЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ СУДНА ВІД ВІТРУ  
*Запропонований алгоритм визначення пов'язаних векторів складного руху судна при численні створює передумови до максимального підвищення інформативності про процес за рахунок детермінологізації алгоритмів планування траєкторії переміщення суден, включаючи їх маневрування. Реалізація і впровадження в практику штурманської роботи векторного способу числення і планування шляху залежно від обурень підвищує точність і інформативність систем управління судном. Розглянута блок-схема представляє інтерес для побудови навігаційного пристрою по маневруванню судна в обмежених умовах.*

**Ключові слова:** вектор зсуву від вітру, складний рух, інформативність процесу числення.

**Golikov V.V., Maltsev C.E. ANALYSIS OF VECTOR OF DISPLACEMENT OUT OF WAY OF SHIP FROM WIND**

*The offered algorithm of determination of the constrained vectors of difficult motion of ship at numbering creates pre-conditions to the maximal increase of informing about a process due to determination algorithms of planning way, including their maneuverings. Realization and introduction in practice of navigator work of vectors method of numbering and planning of way depending on indignations promote exactness and informing of control system a ship. The considered flow-chart is of interest for the construction of informational navigation device on maneuverings of ship in straitened.*

**Keywords:** vector of displacement from wind, difficult motion, informing of process of numerable position.

© Голіков В.В., Мальцев С.Е.

Статтю прийнято  
до редакції 31.03.15

## ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ СУДНОВОЇ ТЕРМОАКУСТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГАЗИФІКАЦІЇ LNG ПАЛИВ

**Коробко В.В., Московко О.О., Тимошенко Д.О.**

*Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова, м. Миколаїв*

*На судах, енергетичні установки яких споживають метан, застосовуються спеціальні системи регазифікації. В більшості LNG систем для регазифікації скрапленого газу використовують теплоту заборотної води, або теплоносії систем СЕУ. Скраплений природний газ є носієм «кріогенної енергії». Частіше за все цей «кріогенний» потенціал LNG палива не використовується. Існує принципова можливість утилізувати цей енергетичний потенціал з допомогою термоакустичних теплових машин. Термоакустичні технології потенційно здатні забезпечити можливості для вдосконалення енергетичної ефективності СЕУ завдяки утилізації низькотемпературних скидних теплових ресурсів. Для СЕУ LNG танкера розроблена принципова схема термоакустичної енергогенеруючої системи регазифікації кріогенного палива. З допомогою програми DELTA EC проведені варіантні розрахунки кріогенних ТАД різних потужностей, наведені результати чисельного моделювання. В результаті були визначені найбільш раціональні конструкції кріогенних ТАД і задачі для подальших досліджень.*

*Ключові слова: СЕУ, LNG палива, скидні енергетичні ресурси, термоакустика, регазифікація, теплові машини.*

**Постановка проблеми.** Судноплавство завжди було важливою складовою світової економіки, тому загальні тенденції неодмінно знаходять відображення в судновій техніці. Характерними рисами сьогодення є наявність комплексу жорстких умов відносно економічності, енергоефективності й екологічної безпеки енергетичного обладнання. У складі ЕУ сучасних суден використовуються новітні високоефективні двигуни, характеристики яких задовольняють вимогам TIER II і TIER III, стрімко зростає чисельність суден, які використовують газове паливо. Суттєвих змін зазнали складові теплового балансу СЕУ, з'явилися джерела енергії з кріогенною температурою (LNG палива), зменшилась температура відходячих газів ГД, зросла температура повітря після турбоагнітачів.

Ці обставини вимагають розробки нових інноваційних заходів енергозбереження в судновій енергетиці. Можливим варіантом може стати використання термоакустичних технологій.

Наявні дослідження виконувались з метою вивчення можливостей використання термоакустичних теплових машин у складі СЕУ шляхом створення енергогенеруючих систем регазифікації LNG палива.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі чисельні приклади використання термоакустичних теплових машин (ТАТМ) у кріогенних технологіях. Існують проекти та створені діючі установки скраплення природного газу, які планувалось використовувати на судах FPSO [1]. ТАТМ здатні ефективно працювати у складі кріогенних систем, оскільки для їх роботи потрібна лише наявність повздовжнього градієнту температури в стеку, при цьому абсолютні значення температур неважливі.

Можливість роботи «кріогенного» термоакустичного двигуна була підтверджена експериментально в роботі [2]. Раніше в роботах [3, 4] було запропоновано створити енергогенеруючі системи регазифікації LNG палива з використанням ТАТМ. Такі системи у змозі забезпечити генерацію електричної енергії або роботу термоакустичного теплового насоса (рефрижератору) за рахунок утилізації низькотемпературних складових ВЕР, в тому разі і кріогенних.

**Ціль роботи** – за допомогою чисельного моделювання установити можливу ефективність суднової енергогенеруючої системи регазифікації LNG палива на базі термоакустичних теплових машин і визначити оптимальні конструктивні співвідношення.

**Викладення основного матеріалу.** В якості базового об'єкту для досліджень була обрана ЕУ LNG танкеру «Coral Energy» з двопаливний ГД Wartsila 8L50DF, який працює на рідинному паливі і на природному газі – метані. ГД може споживати як випар вантажу, так і газ з окремої системи регазифікації. На початку даної роботи були визначені складові ВЕР ГД на ходовому режимі (табл. 1) [5].

Таблиця 1 – ВЕР головного двигуна Wartsila 8L50DF при роботі на LNG паливі

| Теплоносій або джерело ВЕР           |                                | Кількість теплоти ВЕР, кВт | Температура  |           |
|--------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------|-----------|
|                                      |                                |                            | °C           | K         |
| Відхідні гази ГД                     |                                | 1775                       | 385          | 448       |
| Теплообмінник надувного повітря (НТ) |                                | 1147                       | 91           | 364       |
| Теплообмінник надувного повітря (ЛТ) |                                | 667                        | 38           | 311       |
| Система охолодження двигуна          |                                | 671                        | 91           | 364       |
| Маслоохолоджувач ГД                  |                                | 627                        | 78           | 351       |
| Кріогенна енергія LNG палива         |                                | 300                        | -162         | 111       |
| В тому разі                          | Скраплений LNG, (тиск 0,5 МПа) | 30                         | -(162 – 141) | 111 – 132 |
|                                      | Теплота випаровування LNG      | 270                        | -141         | 111       |

Наведена інформація, показує наявний потенціал ВЕР ЕУ обраного судна. Частина ВЕР, з температурою вищою за довкілля, утилізується у традиційний спосіб за допомогою утилізаційного котла та опріснювальної установки. Зрозуміло, що велика кількість низькотемпературних ВЕР не використовується, формуючи теплове забруднення довкілля.

Основна ідея розробки полягає в тому, що замість нагрівачів скрапленого газу пропонується використати блок з декількох низькотемпературних ТАД з циклом Брайтона (стояча хвиля). Модуль термоакустичних перетворень (МТП) ТАД, завдяки термодинамічній незворотності робочого циклу, має забезпечити підвищення температури скрапленого метану майже до рівня кипіння, одночасно виробляючи електричну енергію для загальносуднових потреб. Таким чином, система регазифікації буде спроможна утилізувати наявну енергію джерел низькопотенційних ВЕР СЕУ – скидну теплоту системи охолодження ГД і кріогенний потенціал LNG.

Гradient температур в матриці, потрібний для роботи «кріогенного» ТАД [4], забезпечується за рахунок різниці в температурах теплоносіїв, які прокачуються скрізь теплообмінники МТП, а саме між рідиною системи охолодження ГД (91 °C) та температурою LNG палива – (162 – 141) °C. Оскільки ТАТМ в якості робочого тіла використовується чистий гелій повністю виключаються можливі проблеми, пов'язані з намерзанням льоду на зовнішніх поверхнях теплообмінників.

У даній роботі було проведено числове дослідження характеристик низки «кріогенних» ТАД, які відрізнялися діаметром робочої частини МТП, характеристики ТАД показані в табл. 2.

Таблиця 2 – Характеристики модельованих ТАД

|                       |     |         |         |         |
|-----------------------|-----|---------|---------|---------|
| Діаметр ТАД           | мм  | 130     | 250     | 380     |
| Довжина               | мм  | 4900    | 4900    | 4900    |
| Потужність ВЕР        | кВт | 1–4     | 5–20    | 25–40   |
| Робоча частота        | Гц  | 50–60   | 50–60   | 50–60   |
| Розмір каналу в стеку | мм  | 0,9*0,9 | 0,9*0,9 | 0,9*0,9 |

У практиці термоакустики прийнято, що коли в якості стоку теплової енергії розглядається оточуюче середовище, то маємо «heat-source driven thermoacoustic engine – HTE», та коли температура стоку значно нижча за температуру довкілля – відповідно маємо «cold-source-driven thermoacoustic engine – CTE».

Конструктивно «криогенний» ТАД системи регазифікації являє собою напівхвильовий резонатор з приєднаним до нього блоком лінійного електрогенератора (рис. 1).

У порожнині резонатору розташований модуль термоакустичного перетворювача, який складається з пористої керамічної матриці та двох теплообмінників трубчасто-ребристих теплообмінників – нагрівача й охолоджувача, робоча рідина в резонаторі – гелій з тиском 0.1 мПа. Конструкція ТАТМ дозволяє компанувати блоки різної потужності, відповідно до наявних ресурсів.

У розрахунках «криогенна» потужність ТАД була обмежена потенціалом рідинної фази скрапленого LNG, тобто в охолоджувачі LNG залишається рідиною і випаровування не відбувається. Конструкція випарних теплообмінників потребує додаткового опрацювання, що не передбачалось планом досліджень.

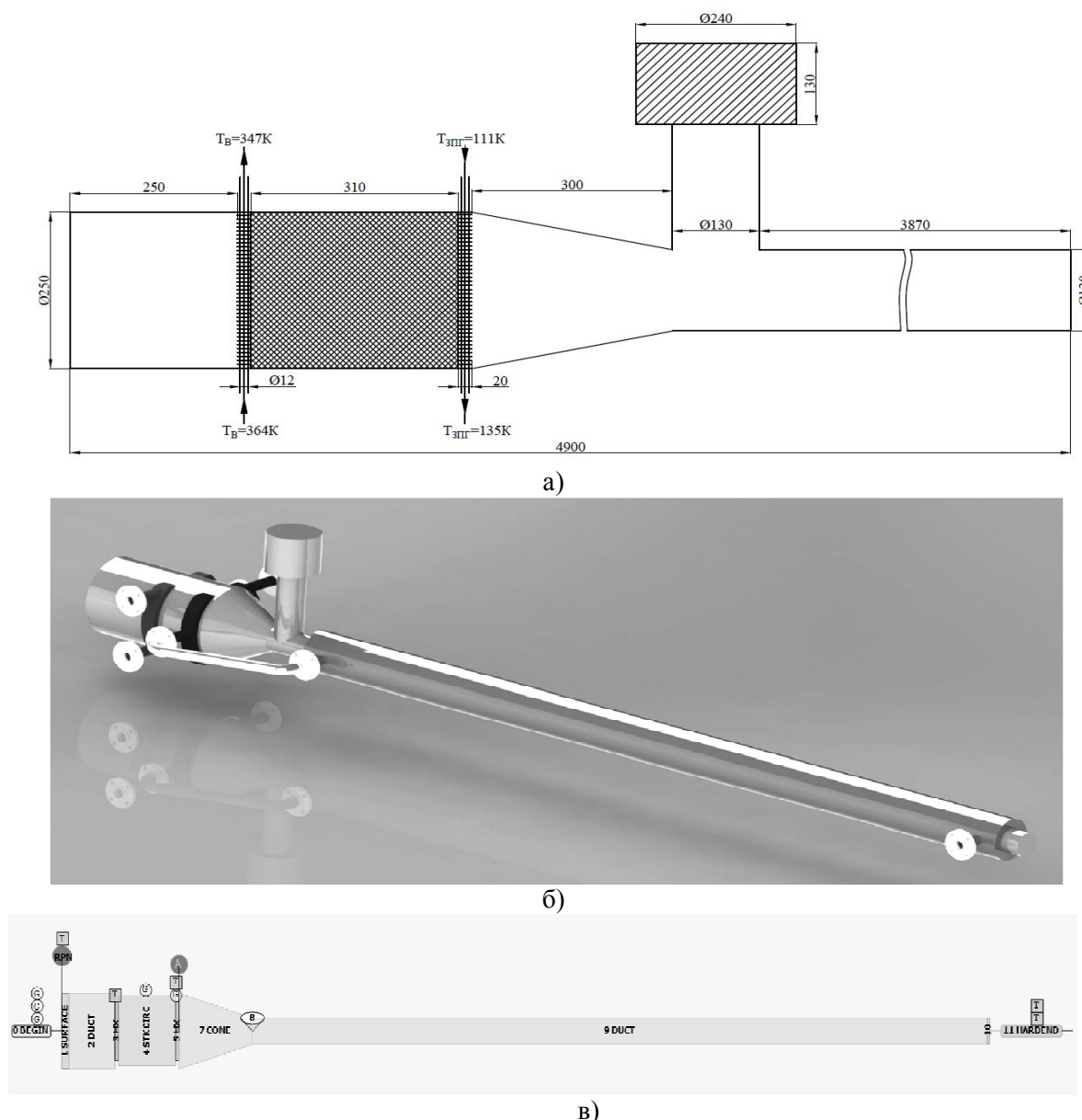


Рисунок 1 – «Криогенний» ТАД: а) поперечний переріз, б) ескіз, в) розрахункова схема в програмі Delta EC

Розрахунки виконувались за допомогою програмного пакету Delta EC [5], який призначений для моделювання термоакустичних систем та комплексу теплофізичних параметрів, пов'язаних з цим. Програма DELTA EC дозволяє розрахувати потужності ТАД та лінійного електричного генератора в залежності від конструкції ТАД, температури ВЕР, оптимізувати конструкцію вузлів ТАД.

У цьому програмному середовищі здійснюється чисельне інтегрування хвильового рівняння в формі, що запровадив Ротт (1), з урахуванням комплексу теплофізичних процесів, які мають місце при взаємодії акустичної хвилі з твердою поверхнюю.

Інтегрування виконується з допомогою «multi-parameter shooting method». Рішення  $p_1(x)$  і  $U_1(x)$  будуть однозначно визначені тільки за умов завдання відповідних граничних умов.

$$\left[ 1 + \frac{(\gamma - 1)}{(1 + \epsilon_s)} f_k \right] p_1 + \frac{a^2}{\omega^2} \rho_m \frac{d}{dx} \left[ \frac{(1 - f_v)}{\rho_m} \times \frac{dp_1}{dx} \right] + \frac{a^2}{\omega^2} \frac{(f_k - f_v)}{(\sigma - 1)(1 + \epsilon_s)} \times \beta \frac{dT_m}{dx} \frac{dp_1}{dx} = 0, \quad (1)$$

Це рівняння може бути показано у вигляді системи з двох рівнянь першого порядку:

$$\begin{aligned} \frac{dp_1}{dx} &= -\frac{i\omega\rho_m}{A(1-f_v)} U_1 \\ \frac{dU_1}{dx} &= -\frac{i\omega A}{\rho_m a^2} \left( 1 + \frac{(\gamma - 1)f_k}{1 + \epsilon_s} \right) p_1 + \frac{(f_k - f_v)}{(1 - Pr)(1 + \epsilon_s)} \beta \frac{dT_m}{dx} U_1 \end{aligned} \quad (2)$$

які являють собою модифіковані термоакустичні форми рівнянь моменту та щільності:

$$\frac{dp_1}{dx} = F_{щільності}(p_1, U_1, T_m, \rho_m, \omega, \text{геометрія, параметри газу...}) \quad (3)$$

$$\frac{dU_1}{dx} = F_{кількість\_руху}(p_1, U_1, T_m, \rho_m, \omega, \text{геометрія, параметри газу...}) \quad (4)$$

Детальна інформація, що до складових рівнянь (1–4) та особливостей алгоритму розрахунків, наведена в роботі [6].

Таблиця 3 – Зовнішні характеристики комплексу ТАД – генератор

| ТАД 130 мм     |          |            | ТАД 250 мм     |          |            | ТАД 380 мм     |          |            |
|----------------|----------|------------|----------------|----------|------------|----------------|----------|------------|
| $Q_{in}$ , кВт | $W$ , Вт | $\eta$ , % | $Q_{in}$ , кВт | $W$ , Вт | $\eta$ , % | $Q_{in}$ , кВт | $W$ , Вт | $\eta$ , % |
| 1              | 111      | 10         | 5              | 0,504    | 11         | 25             | 3,47     | 14         |
| 2              | 221      | 10         | 10             | 0,997    | 11         | 30             | 4,17     | 14         |
| 3              | 329      | 10         | 15             | 1,517    | 11         | 35             | 4,87     | 14         |
| 4              | 437      | 8          | 20             | 2,05     | 10         | 40             | 5,59     | 11         |

Розрахунки показали, що за заданих умов термоакустична енергогенеруюча система здатна продукувати електричну енергію з допомогою лінійного генератора.

На рис. 2 і рис. 3 показані результати розрахунків параметрів ТАД з МТП діаметром 0,38 м. Це найбільший з модельованих ТАД, тепла потужність якого за «кріогенним» потенціалом могла сягати 40 кВт.

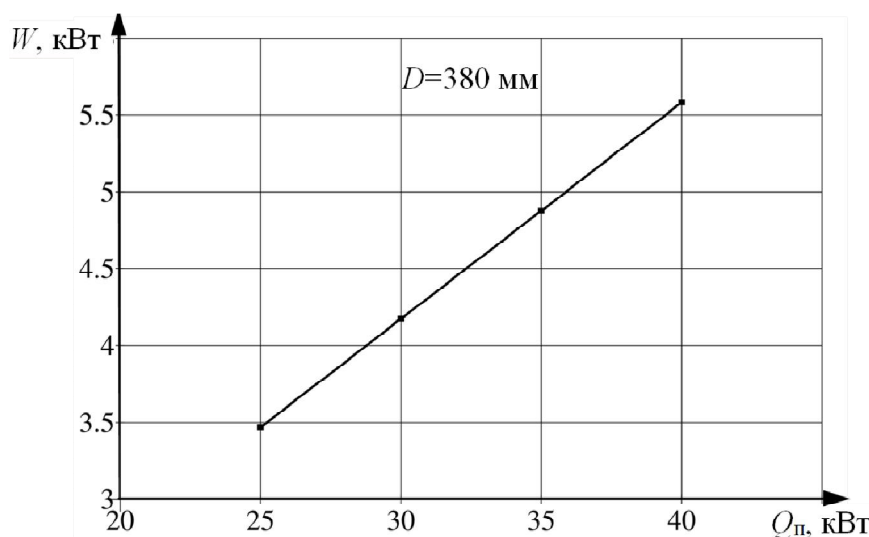


Рисунок 2 – Залежності електричної потужності від кількості підведеної теплоти  $P = 0,1 \text{ МПа}$

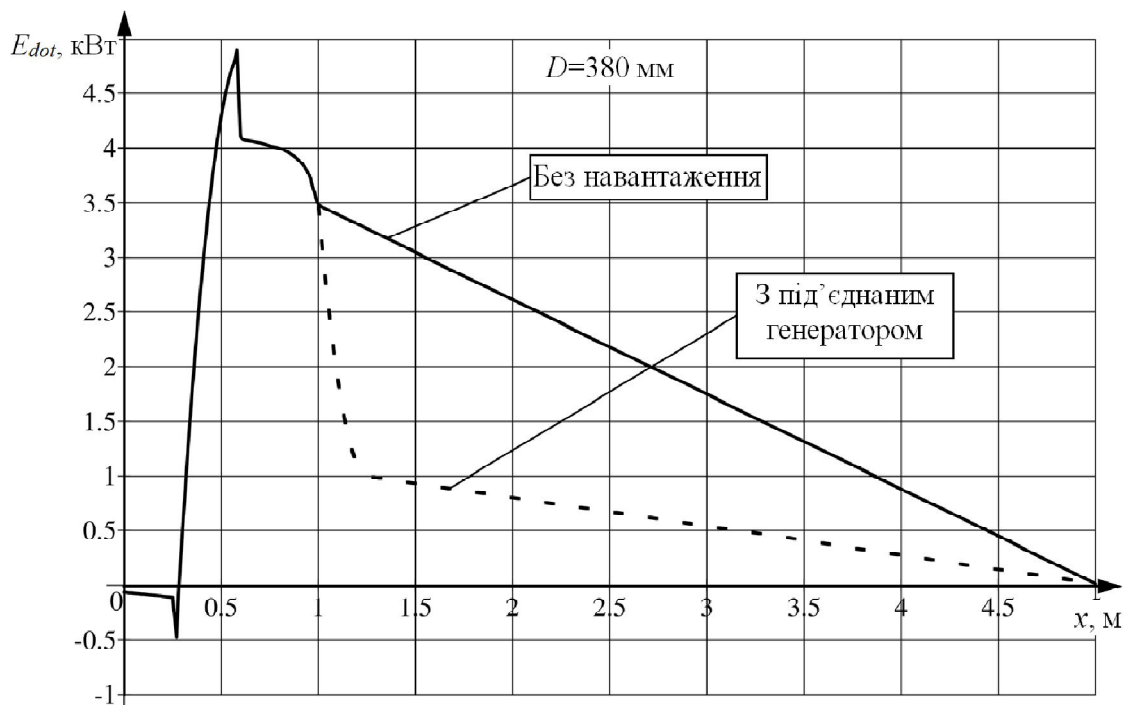


Рисунок 3 – Розподіл акустичної енергії по довжині ТАД

Можна бачити, що потужність електричного генератору має лінійну залежність від кількості підведеної теплоти. Корисне навантаження ТАД – генератор доцільно підключити в зоні з максимально щільністю акустичної енергії – безпосередньо після блоку термоакустичного перетворювача.

**Висновки.** У результаті чисельного моделювання робочих процесів у «криогенному» ТАД системи регазифікації LNG палива були отримані такі результати:

- показана можливість утилізувати криогенний потенціал LNG палива за рахунок скидних теплових ресурсів СЕУ;
- розрахована можлива максимальна електрична потужність ТАД у залежності від розмірів ТАД і кількості теплової енергії;
- визначені напрями подальших досліджень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. G. W. Swift. Thermoacoustics for liquefaction of natural gas / G. W. Swift and J. J. Wollan // GasTIPS. – Volume 8, Number 4. – pp. 21-26.
2. QIU LiMin Characteristics of onset and damping in a standing-wave thermoacoustic engine driven by liquid nitrogen / QIU LiMin, LOU Ping, WANG Kai, WANG Bo, SUN DaMing, RAO JunFeng, ZHANG XueJun // Chinese Science Bulletin – 2013., 58 (11). – p. 1325-1330.
3. Коробко В. В. Перспективи застосування термоакустичних технологій в системах регазифікації / В. В. Коробко, О. О. Московко // VI міжнародна науково-технічна конференція «Суднова енергетика: стан та проблеми». – Миколаїв : НУК. 2013.
4. Коробко В. В. Можливі шляхи використання термоакустичних теплових машин в системах СЕУ // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2014. – № 2 (11). – С. 69-76.
5. Wärtsilä 50df product guide / wärtsilä. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.wartsila.com>
6. Ward B. Design Environment for Low-amplitude Thermoacoustic Energy Conversion / B. Ward, J. Clark, G. Swift // Los Alamos National Laboratory. – 2008. – 282 p.

## REFERENCES

1. G. W. Swift. Thermoacoustics for liquefaction of natural gas / G. W. Swift and J. J. Wollan // GasTIPS. – Volume 8, Number 4. – pp. 21-26.
2. QIU LiMin Characteristics of onset and damping in a standing-wave thermoacoustic engine driven by liquid nitrogen / QIU LiMin, LOU Ping, WANG Kai, WANG Bo, SUN DaMing, RAO JunFeng, ZHANG XueJun // Chinese Science Bulletin – 2013., 58 (11). – p. 1325-1330.
3. Korobko V. V. Perspektivi zastosuvannya termoakustichnikh tekhnologiy v sistemakh re gazifikacii / V. V. Korobko, O. O. Moskovko // VI mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferenciya «Sudnova energetika: stan ta problemi». – Mikolaiv : NUK. 2013.
4. 4. Korobko V. V. Mozhliivi shlyakhi vikoristannya termoakustichnikh teplovikh mashin v sistemakh SEU // Naukoviyj visnik Khersons'jkoї derzhavnoї mors'jkoї akademii. – Kherson : Vidavnictvo KhDMA, 2014. – № 2 (11). – S. 69-76.
5. Wärtsilä 50df product guide / wärtsilä. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.wartsila.com>
6. Ward B. Design Environment for Low-amplitude Thermoacoustic Energy Conversion / B. Ward, J. Clark, G. Swift // Los Alamos National Laboratory. – 2008. – 282 p.

### **Коробко В.В., Московко А.А., Тимошенко Д.А. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СУДОВОЙ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГАЗИФИКАЦИИ LNG ТОПЛИВА**

*На судах, энергетические установки которых потребляют LNG, применяются специальные системы регазификации. В большинстве LNG систем для регазификации сжиженного газа используют теплоту забортной воды или теплоносителей систем СЭУ. Сжиженный природный газ – метан – является носителем «криогенной энергии». Чаще всего этот «криогенный» температурный потенциал LNG топлива не используется. Существует принципиальная возможность утилизировать этот энергетический потенциал с помощью термоакустических тепловых машин. Термоакустические технологии потенциально способны обеспечить возможности для совершенствования энергетической эффективности СЭУ благодаря утилизации низкотемпературных сбросных тепловых ресурсов. Для СЭУ LNG танкера разработана принципиальная схема термоакустической энергогенерирующей системы регазификации криогенного топлива.*

*С помощью программы DELTA ЕС проведены вариантыные расчеты криогенных ТАД различных мощностей, приведены результаты численного моделирования. В результате были определены наиболее рациональные конструкции криогенных ТАД и задачи для дальнейших исследований.*

*Ключевые слова: СЭУ, LNG топлива, сбросные энергетические ресурсы, термоакустика, регазификация, тепловые машины.*

**Korobko VV, Moskovko O.O., Tymoshenko D.O. NUMERICAL MODELING OF SHIP THERMOACOUSTIC LNG REGASIFICATION SYSTEM**

*On the ships with power plants that consume LNG the special systems of regasification are used. In common, the LNG systems for regasification of LNG uses the warmth of outboard water, or coolant of the ships power plants. Liquid natural gas – methane is the source of «cryogenic energy». More often, that «cryogenic» temperature potential of LNG of fuel is not used. There is vital possibility to utilize this potential power with the help of thermoacoustic thermal machines. Thermoacoustic technology can potentially provide opportunities to improve the energy efficiency of EMS through utilization of low-temperature waste heat resources. In this article the thermoacoustic energy generating system for regasification of cryogenic fuel of EMS LNG tanker was developed.*

*With the help of the program DELTA EC the variant calculations of cryogenic TAE of different powers were conducted. The results of calculations for numeral designs are presented. As a result, the most rational constructions of cryogenic TAE and the tasks for further researches were determined.*

*Keywords: ship power plants, LNG fuel, waste heat energy, thermoacoustic, regasification, heat machine.*

© Коробко В.В., Московко О.О., Тимошенко Д.О.

Статтю прийнято  
до редакції 29.04.15

## МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАСЧЕТА СТОИМОСТИ ЛОЦМАНСКОЙ ПРОВОДКИ

*Лошкарев А.Г., Стомба Т.А.*

*Херсонская государственная морская академия*

*В системе взимания портовых сборов и плат за услуги, оказываемых судам, можно отметить многочисленные случаи необоснованного завышения стоимости услуг в Украине: рентабельность портовых сборов составляет 500–600%, в то время как в западноевропейских странах 10–12 %.*

*Поэтому в статье изучен существующий порядок калькуляции стоимости лоцманской проводки судна подходящими каналами, и разработаны методические рекомендации по оптимизации его расчета в зависимости от расстояния, на которое проведено судно во время действия надбавки за внеурочное время. Предложенная методика позволяет правильно рассчитать стоимость услуг лоцмана при проводке судов подходящими каналами, исчисленной по действующим тарифам и избежать необоснованного завышения стоимости лоцпроводки.*

*Ключевые слова: портовые сборы и платы, лоцманская проводка, форма лоцманской квитанции, порядок расчета стоимости лоцманской проводки судна подходящими каналами.*

**Введение.** В настоящее время мировая экономика переживает не лучший период своей истории. Соответственно, все отрасли мирового хозяйства, включая морской транспорт, вынуждены работать в режиме экономии, который не освобождает судовладельца от выполнения всех условий договора перевозки.

В связи с этим большое значение приобретает деятельность, направленная на сокращение расходов судна, значительную часть которых составляют портовые сборы и платы.

Портовые сборы и платы – это плата за услуги, которые предусматривают предоставление права пользования гидротехническими сооружениями, территориями и другими техническими средствами портов. Грузовладельцам порты оказывают услуги по переработке прибывающих в порт грузов, судовладельцам – возможность их транспортным средствам свободно войти в порт, выйти из него и обеспечить безопасность пребывания в нем. Предоставляя услуги, порты несут определенные расходы на оплату труда персонала и содержание средств производства. По своему назначению портовые сборы и платы весьма разнообразны и включают маячный, собственно портовый, тоннажный или корабельный, доковый, причальный, якорный, канальный, ледовый, речной, шлюзовый, лоцманский, санитарный сборы, оплата услуг буксиров, швартовщиков, за чистку причалов и пр. [1, С. 15-16; 2, С. 129-131].

В зарубежной практике портовые сборы и платы устанавливаются и изменяются в порядке удовлетворения потребностей не только самих портов, но и других заинтересованных сторон. В Западной Европе сложились два основных подхода к портовому ценообразованию – английский и французский [1, С. 5].

Английский подход основывается на том, что одной из важнейших задач портов должно быть получение прибыли. В Великобритании морские порты вправе взимать различные сборы и платы с судов и обрабатываемых грузов при условии обслуживания их портовыми средствами. Причем величина портовых сборов должна обеспечивать средства на покрытие всех годовых затрат порта. Эта концепция в целом принята в большинстве стран мира.

Согласно французской концепции порты не обязаны приносить прибыль, поскольку их основная цель заключается в создании благоприятных экономических условий для развития прилегающих к ним территорий и страны в целом. Прибыль от развития прилегающих территорий значительно превышает расходы на содержание портов, что служит основанием для выделения правительствами некоторых стран значительных средств из бюджета на содержание и развитие национальных портов. Порты Западной Европы, как правило, получают значительные субсидии от государства, что

приводит к снижению их тарифов, а также расходов клиентов и повышению конкурентоспособности по сравнению с портами тех стран, которые не получают финансовой помощи от правительства.

Однако независимо от принятой концепции формирования портовых тарифов, их максимум определяется величиной прибыли, которую может получить клиент от пользования услугами порта.

Эксперты выделяют три фактора, которые следует учитывать при формировании уровня портовых тарифов:

- величина расходов порта, которая определяется стоимостью используемых им материальных и человеческих ресурсов;

- величина прибыли клиентов порта. Для грузовладельца – это разность между стоимостью груза в месте его приобретения и стоимостью в месте его продажи за вычетом транспортных расходов. Для судовладельца прибыль определяется как разность между фрахтом, полученным за перевозку грузов, и расходами по судну и рейсу, значительную часть которых составляют портовые сборы;

- величина доходов порта, которые он может реализовать через тарифы – часть расходов грузовладельцев и судовладельцев, которую портовые власти сумеют закрепить за собой. При этом порт, естественно, не может получить прибыль больше, чем у грузовладельцев и судовладельцев от пользования его услугами. Иначе порт потеряет свою конкурентоспособность, а, следовательно, и привлекательность [3].

Таким образом, спрос на услуги порта зависит от того, какая прибыль при установлении портовых тарифов остается у клиентов. Исходя из этого, порт должен установить такой уровень тарифов, который способствовал бы повышению эффективности его работы и учитывал при этом не только текущие, но и стратегические цели. Для повышения спроса на свои услуги, при прочих равных условиях, портовые власти должны снижать уровень тарифов. Путем повышения тарифов порт может сократить спрос на свои услуги, что имеет место в украинских морских портах. Только в исключительных случаях повышение тарифов оправдано. Например, при нехватке складских площадей в порту тарифы устанавливаются на таком уровне, который сократит время хранения на них грузов.

К сожалению, в Украине системе портовых сборов не везет. С умом ею не смогли распорядиться ни порты (вспомним ничем не оправданную, непомерно завышенную действиями администрации Херсонского и Николаевского портов ставку канального сбора, которая привела к снижению привлекательности этих портов для клиентуры), ни вышестоящие органы (изменением формы расчета причального сбора, введением надуманного административного сбора). И самую большую опасность представляет существующая с недавнего времени система отрыва портовых сборов от портов путем передачи функции получения портовых сборов государственному предприятию «Администрация морских портов Украины», которая, по мнению авторов, способствовать привлекательности украинских портов для грузовладельцев не будет. Однако это является темой для отдельного большого исследования схем финансирования всей системы морской инфраструктуры Украины, которая выходит за рамки данной статьи.

Если внимательно изучить оставшееся от прежних властей Украины наследие, то в системе взимания портовых сборов и плат за услуги, оказываемые судам, следует отметить многочисленные случаи необоснованного завышения стоимости услуг: рентабельность портовых сборов в Украине составляет 500–600%, в западноевропейских странах 10–12 % [3].

**Анализ последних исследований, в которых положено начало решению проблемы.** Винников В. В. отмечает, что одним из сложно исчисляемых судовых сборов в отечественных портах является лоцманский [4, С. 274]. Жихарева В. В. акцентирует внимание на том, какие сборы и платы изымаются в морских портах с судов и плавучих сооружений, которые работают как под национальным, так и под иностранными

флагами [5, С. 363]. В Кодексе торгового мореплавания Украины уделено внимание процедурам лоцманской проводки [6, глава 3].

**Целью статьи** является оценка существующего порядка расчета стоимости лоцманской проводки судна подходными каналами и формирование методических рекомендаций по оптимизации его расчета, путем фиксации фактического расстояния, пройденного судном во время лоцпроводки, с разделением этого расстояния на отдельные участки, зависящие от времени суток, связанного с действием конкретной надбавки за проводку судна во внеурочное время.

**Результаты исследования.** В соответствии с вышеуказанной целью исследования в статье определены и решены такие основные задачи: установлена сущность и роль лоцманской проводки в обеспечении безопасности судна, экипажа и груза, исследованы недостатки существующего подхода к расчету стоимости лоцманской проводки судна подходными каналами и предложена методика расчета, которая будет учитывать реальные условия предоставления услуги.

Объектом исследования являются суда – потребители лоцманских услуг.

Предметом исследования является совокупность теоретических, методических и практических аспектов расчета стоимости лоцманской проводки судна подходными каналами.

Методологической основой исследования является диалектический метод и системный подход. Теоретическую базу исследования составили существующие методики исчисления сборов и плат, практические и справочные пособия украинских и зарубежных авторов.

Прибрежные страны имеют исключительное право на осуществление в своих водах лоцманской проводки, которое реализуется путем организации государственной лоцманской службы или лоцманских корпораций, функционирующих под общим контролем государства. Лоцманская проводка обеспечивает возможность безопасного захода и выхода судна из порта, а также безопасное прохождение сложных участков перехода.

Ценность лоцмана заключается в том, что он знает конкретный район плавания, его навигационную обстановку, маяки, огни, мели и пр. Капитан использует практические знания лоцмана и его опыт плавания в данном районе [7, С. 184].

Лоцманская проводка подразделяется на:

- добровольную (или необязательную) – капитан судна не обязан брать лоцмана, но, если посчитает необходимым, может затребовать на судно лоцмана;
- обязательную – капитан судна не имеет права осуществлять плавание без лоцмана [7, С. 184].

Выбор вида лоцманской проводки определяется соображениями безопасности мореплавания и необходимостью соблюдения интересов государства. Следует заметить, что во многих странах деятельность лоцмана на борту судна регламентируется Положением о государственных морских лоцманах или Кодексом торгового мореплавания, согласно которым присутствие лоцмана не снимает с капитана ответственности за управление судном.

Если капитан, приняв на судно лоцмана, не будет следовать его рекомендациям, последний имеет право в присутствии третьего лица отказаться от продолжения проводки судна. Лоцман обязан потребовать, чтобы об этом было записано в судовом журнале и в лоцманской квитанции. Однако и после отказа от проводки лоцман обязан оставаться на мостике и, если капитану потребуются сведения, необходимые для безопасного плавания, он обязан предоставить их. Если же капитан потребует, чтобы лоцман возобновил проводку судна, то он не вправе отказаться, и обязан продолжить проводку [7, С. 183].

Капитан судна, как бы хорошо он ни подготовился к плаванию, вынужден в большинстве случаев полагаться на лоцмана, что накладывает на последнего особую ответственность за безопасность судна и людей.

Однако капитан и судовладелец смогут возложить ответственность на лоцмана и соответствующую службу (компанию), если все действия лоцмана, в том числе и ошибочные, что, как правило, выясняется только после происшествия, будут своевременно и надлежащим образом зафиксированы.

Если местные правила предусматривают обязательную лоцманскую проводку, а капитан ею пренебрегает, то суд или арбитраж рассматривают действия капитана как грубую небрежность и возлагают на такое судно ответственность за происшествие.

Действующими тарифами предусмотрена оплата стоимости внепортовой лоцманской проводки в зависимости от расстояния, на которое проведено судно. При этом при проводке судна в ночное время, за выходные и праздничные дни должны взиматься надбавки. Размер этих надбавок составляет 25% за предоставление услуги в ночное время в будний день и 100% – в выходные дни. В выходные и праздничные дни также взимается надбавка за работу в дневное время в размере 50% стоимости услуги. Ночным временем считается период с 22 часов до 06 часов следующих суток.

Если проводка судна производится полностью в период действия одной какой-то надбавки, то проблем с расчетом стоимости этой услуги не возникает. Но во многих случаях при проводке судна лоцманом какая-то ее часть производится во внеурочное время и возникает необходимость определить размер этой части услуги для расчета надбавки.

К сожалению, до настоящего времени формы расчета стоимости лоцманской проводки судов каналом в филиале ГП «Администрации морских портов Украины» ГП «Дельта-лоцман» (а также всеми предыдущими организациями, осуществлявшими лоцманские услуги) не предусматривают определения этих надбавок в зависимости от расстояния, на которое проведено судно во время действия этой надбавки. Вместо этого оплата взимается за время нахождения лоцмана на судне, т.е. с момента его прибытия и до момента убытия с судна. Расстояние проводки умножается на ставку тарифа и модуль судна, полученное значение, делится на время нахождения лоцмана на борту судна, и полученное значение (условная почасовая стоимость проводки без надбавок), затем умножается на время нахождения лоцмана на судне (отдельно за дневное и ночное время) и на ночное время начисляется надбавка.

Это можно объяснить историей развития системы тарифов на сборы и услуги, оказываемые судам в морских портах.

В 70-е годы прошлого века действующими тарифами взимание надбавки за работу лоцманов (а также буксиров, катеров, швартовых команд) в ночное время и праздничные и выходные дни не предусматривалось. Лоцманы в то время являлись работниками порта, и счета за их работу выставлялись портами. В лоцманских квитанциях указывалось время прибытия лоцмана на судно, время убытия его с судна, а также расстояние, на которое было проведено судно. Этих данных было вполне достаточно для правильного расчета стоимости лоцманской проводки и никаких недоразумений по этому поводу не возникало.

Время шло, аппетиты государственных органов на валюту росли, и в тарифах появились надбавки за оказание услуг во внеурочное время, а форма лоцманской квитанции не изменилась. Лоцманы, осуществляющие проводку судов каналами, за это время несколько раз «меняли» свое руководство. Из портов эту услугу изыали, и она переходила из рук в руки, пока не оказалась в ГП «Дельта-лоцман», которое, в свою очередь, является филиалом ГП «Администрация морских портов Украины». Применяемая в настоящее время система расчета этих надбавок была, в свое время, разработана ТЭК Ильичевского порта.

Таким образом, при расчете стоимости лоцманской проводки каналом реальное движение судна заменяется неким виртуальным, при котором судно начинает движение с прибытием лоцмана, а заканчивает с его убытием с судна, все время проводки двигаясь с постоянной скоростью.

При этом имеет место искажение действительной стоимости лоцпроводки. Так, в случае, если судно из-за ухудшения погоды либо по другим причинам становится на якорь в ожидании возможности продолжить движение и лоцман, как принято говорить на флоте, «отдыхает», действующая система расчета стоимости лоцпроводки продолжает начислять плату. Пикантность ситуации заключается в том, что судно может вообще не иметь движения в ночное время, в то время как надбавка за якобы имеющую место проводку судна в это ночное время будет взыскана.

Таким образом, стоимость лоцпроводки неправомерно увеличивается. Избежать этого нежелательного, для имиджа правовой страны, явления можно очень просто – изменением формы лоцманской квитанции. Причем эти изменения минимальны. Необходимо добавить в нее лишь 2–3 строки. В строке проставляется дата и сутки разбиваются на 3 колонки, соответствующие времени действия надбавок: 00.00-06.00; 06.00-22.00 и 22.00-24.00. В каждой из колонок проставляется расстояние в милях, пройденное судом в соответствующий период времени. Несколько строчек необходимы, так как лоцпроводка может продолжаться несколько суток. В практике работы портов Херсона и Николаева известны случаи, когда при проводке каналами из-за ограниченной видимости и по другим причинам суда отстаивались на якорных стоянках в течение нескольких суток.

Приведем пример расчета стоимости лоцпроводки при выходе суда из порта Херсон. Условный объем (модуль) судна составляет 18 125 м<sup>3</sup>. Лоцман прибыл на борт 01.08.XX (пятница) в 14.00 и убыл с судна на следующий день 02.08.XX (суббота) в 16.00. Расстояние лоцпроводки – 71 миля. Тарифная ставка \$ 0,0008 за кубометр модуля на милю.

После выхода из порта, пройдя некоторое расстояние, в 18.00 судно стало на якорь и простояло до 13.00 02.08.XX. В существующей форме лоцманской квитанции это обстоятельство не отражено.

Производим расчет стоимости по методике ГП «Дельта-лоцман».

Время лоцпроводки: 26 часов.

Нетто-стоимость лоцпроводки: \$ 0,0008 × 71 милю × 18 125 м<sup>3</sup> = \$ 1029,50

Нетто-стоимость 1 часа лоцпроводки: \$ 1029,50/26 часов = \$ 39,60

Из общего времени виртуального движения судна выбираем промежутки действия надбавок. Для упрощения расчетов заменяем проценты коэффициентами.

Пятница: с 14.00 до 22.00, т.е. 8 часов – без надбавок.

Пятница: с 22.00 до 24.00, т.е. 2 часа с надбавкой 25% за ночное время в будний день.  $2 \times 0,25 = 0,5$

Суббота: с 00.00 до 06.00 – 6 часов с надбавкой 100% за ночное время в выходной день.  $6 \times 1 = 6$

Суббота: с 06.00 до 16.00 – 10 часов с надбавкой 50% за дневное время в выходной день.  $10 \times 0,5 = 5$

Итого: \$ 39,60 × (26 + 0,5 + 6 + 5) = \$ 1485,00

Производим расчет лоцманского сбора на основании новой, предлагаемой авторами, формы лоцманской квитанции, где дополнительно представлена информация о фиксации фактического расстояния, пройденного судом во время лоцпроводки, с разделением этого расстояния на участки с учетом времени суток (табл. 1).

Таблица 1 – Пример заполнения предлагаемого дополнения в лоцманскую квитанцию

| Дата<br>Date | Пройдено миль. Miles run            |                                     |                                     |
|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|              | За период<br>From to<br>00.00-06.00 | За период<br>From to<br>06.00-22.00 | За период<br>From to<br>22.00-24.00 |
| 01.08.XX     | -                                   | 43                                  | -                                   |
| 02.08.XX     | -                                   | 28                                  | -                                   |

Производим расчет:

За период с 06.00 до 22.00 01.08.XX (вне действия надбавок) судном пройдено 43 мили.

За период с 06.00 до 22.00 02.08.XX (с надбавкой в 50%), судном пройдено 28 миль.  
 $\$ 0,0008 \times 18\,125 \text{ м}^3 (43 + 28 \times 1,5) = \$ 1\,232,50$

Таким образом, неправомерно взысканная сумма составляет:

$\$ 1485,00 - \$ 1\,232,50 = \$ 252,50$  или 20 % от суммы услуги.

В данном примере рассмотрена ситуация, связанная со стоянкой судна на якоре, при котором движения судна не происходит и, следовательно, начисление лоцманского сбора не должно производиться. Однако это не единственная возможность необоснованного завышения стоимости этой услуги. Момент прибытия лоцмана на судно и момент убытия его с судна не являются моментами начала и конца движения судна. Не исключена ситуация, когда после окончания проводки судна лоцман остается на борту какое-то, может быть и значительное время, так как невозможно снять его из-за непогоды. Точно так же после прибытия лоцмана на судно, проводка судна по тем или иным причинам может задержаться. В связи с этими обстоятельствами, расчет стоимости лоцпроводки будет искажен, причем возможно и ее занижение. К примеру, если судно закончило проводку вечером в воскресенье, а лоцман убыл только утром в понедельник, то в этом случае расчет по действующей форме лоцманской квитанции даст заниженную сумму.

Предложенная методика расчета стоимости внепортовой лоцпроводки путем незначительного дополнения формы лоцманской квитанции может применяться при проводке судов подходными каналами любого порта Украины, при этом значительно упрощаются расчеты, и исключается возможность необоснованного завышения стоимости этой услуги.

**Выводы и перспективы дальнейших научных исследований в данном направлении.** С целью сокращения расходов судна разработана методика оптимизации расчета стоимости лоцманской проводки путем фиксации расстояния, пройденного судном в период действия конкретной надбавки за работу во внеурочное время.

Предложенная методика оптимизации расчета стоимости лоцманской проводки, с учетом фиксации расстояния, фактически пройденного судном, при действии той или иной надбавки позволяет избежать неправомерного завышения расходов судна (которое может составлять значительную часть стоимости этой услуги), также упростить сами расчеты путем специальной фиксации, пройденного судном расстояния отдельно в дневное и ночное время.

В связи с высокими размерами портовых сборов и плат, грузовладельцы при выборе портов погрузки и выгрузки стараются учитывать этот фактор и избегать тех портов и стран, где эти сборы особенно велики. Это обстоятельство делает порты Украины непривлекательными для переработки грузов. Поэтому для обеспечения экономической конкурентоспособности украинских морских портов целесообразно изменить существующий порядок начисления и взимания портовых сборов и плат с целью их оптимизации, и возможности эффективной интеграции страны в систему международных отношений.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов А. И. Сборы и платы в портах мира / А. И. Соколов, В. В. Попов. – М. : Транспорт, 1981. – 80 с.
2. Соколов А. И. Краткий морской коммерческий словарь-справочник / А. И. Соколов – Одесса : Латстар, 2001. – 216 с.
3. Попов В. Зарубежная практика портового ценообразования // Порты Украины. – 2013. – № 01 (123) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://portsukraine.com/node/3155>
4. Винников В. В. Экономика предприятия морского транспорта (экономика морских перевозок): Учебник для вузов водного транспорта / В. В. Винников. – Одесса : Латстар, 2001. – 416 с.
5. Экономика морского транспорта : учебник / Жихарева В. В., Котлубай А. М., Кибик О. Н. и др.; под ред. В. В. Жихаревой. – Харьков : Бурун Книга, 2012. – 480 с.
6. Кодекс торговельного мореплавства України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [zakon0.rada.gov.ua/laws/show/176/95-BP](http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/176/95-BP).
7. Железный Г. М. Судоводителям: Опыт и знание. Практическое пособие // Г. М. Железный, А. И. Задорожный, В. Н. Щербак. – Одесса : изд-во КП ОГТ, 2008. – 522 с.

## REFERENCES

1. Sokolov, A.I., & Popov, V.V. ( 1981). Sbory' I platy' v portah mira. Moscow: Transport.
2. Sokolov, A.I. (2001). Kratkiy morskoy kommercheskiy slovar'-spravochnik. Odessa, Latstar.
3. Popov, V.V. (2013). Zarubezhnaya praktika portovogo cenoobrazovaniya. Porty' Ukrainy', 1: <http://portsukraine.com/node/3155>
4. Vinnikov, V.V. (2011) Ekonomika predpriyatiua morskogo transporta (ekonomika morskikh perevozok). Odessa, LATSTAR.
5. Zhihareva, V.V. ( Ed.). (2012). Ekonomika morskogo transportaby. Har'kov, Burun-Kniga.
6. Kodeks torgovel'nogo moreplavstva Ukrayiny' [Elektronny'y resurs]. – Rezhim dostupu : [zakon0.rada.gov.ua/laws/show/176/95-BP](http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/176/95-BP).
7. Gelezny'y, G.M., Zadorozhny'y, A.I., & Shcherbak, V.N. Sudovoditelyam: Opy't I znaniye.Prakticheskoe posobie. Odessa, izd-vo KP OGT,2008,522 p.

### **Лощкаръов О.Г., Стовба Т.А. МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗРАХУНКУ ВАРТОСТІ ЛОЦМАНСЬКОГО ПРОВЕДЕННЯ**

*У системі стягування портових зборів і плат за послуги, що надаються суднам, можна відзначити численні випадки необґрунтованого завищення вартості послуг в Україні: рентабельність портових зборів складає 500–600%, тоді як у західноєвропейських країнах 10–12 %. Тому у статті досліджено існуючий порядок калькуляції вартості лоцманського проведення судна підхідними каналами, і розроблені методичні рекомендації щодо оптимізації його розрахунку, залежно від відстані, на яке проведено судно під час дії надбавки за позаурочний час. Запропонована методика розрахунку вартості позапортового лоцманського проведення, шляхом незначного доповнення форми лоцманської квитанції, дозволяє правильно розрахувати вартість послуг лоцмана при проведенні суден підхідними каналами, обчисленої за діючими тарифами, може застосовуватися при проведенні суден підхідними каналами будь-якого порту України, при цьому значно спрощуються розрахунки і виключається можливість необґрунтованого завищення вартості цієї послуги.*

*Ключові слова: портові збори і плати, лоцманське проведення, форма лоцманської квитанції, порядок розрахунку вартості лоцманського проведення судна підхідними каналами.*

**Loshkaryev A., Stovba T. METHODOLOGICAL OPTIMIZATION ASPECTS OF PILOTAGE COST CALCULATION**

*In the system of collection of port dues and pays for the services rendered to the courts, it is possible to mark the numerous cases of the groundless overstating of cost of services in Ukraine: profitability of port dues makes 500–600%, while in the countries of Western Europe 10–12 %. Therefore in the article the present system of calculation of cost of the pilot wiring of ship is studied by approach channels and methodical recommendations on optimization of his calculation depending on distance, on which a ship is conducted during action of raise for overtime, and also presence of motion of ship are developed. The offered method of calculation of cost of the pilot conducting by insignificant addition of form of pilot receipt allows to expect correctly cost of services of harbor pilot during piloting ships by approach channels, calculated on operating tariffs, can be used during piloting ships by the approach channels of some port of Ukraine, here calculations are considerably simplified and possibility of the not grounded overstating of cost of pilot wiring is eliminated.*

*Keywords: port dues and pays, pilot wiring, form of pilot receipt, order of cost calculation of the pilotage of ship by approach channels.*

© Лошкарёв О.Г., Стовба Т.А.

Статтю прийнято  
до редакції 20.04.15

УДК 656.61.052

## ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА СУДА ЛЕДОВОГО КЛАССА КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

*Лысый А.А.*

*Азовский морской институт Одесской морской национальной академии, г. Мариуполь*

*В статье обоснована необходимость использования в управлении производственной деятельностью морских портов анализа и прогнозирования сезонных процессов. Приведены статистические данные, показывающие существенное уменьшение грузооборот портов Азовского моря в период ледовой обстановки. Дано определение понятия фактора сезонности, под которым понимается регулярное периодичное наступление определенных погодных условий, связанных со сменой времени года. Подчеркивается, что сезонность выражается в виде колебательных процессов, которые описываются в экономико-математических исследованиях индексами и коэффициентами сезонности. Разработан специальный подход к формированию информационной базы, учитывающий разнообразные формы производственной деятельности порта в условиях ледовой обстановки, удовлетворяющий требования непрерывного планирования и регулирования работы порта. Предложен и разработан словесный алгоритм прогноза состояния ледового покрова для формирования караванов с целью статистического прогнозирования, включающий все стадии обработки динамических рядов: анализ сезонных процессов и планирование регулярных перевозок в регионе при объявлении ледовой обстановки.*

*Ключевые слова: ледовая обстановка, судоходство, сезонные колебания, информационная база, прогнозирование, индексы сезонности, словесный алгоритм, колебание грузового оборота.*

**Постановка задачи.** Организация и планирование круглогодичных перевозок на Азовском море в значительной мере зависит от влияния зимнего периода навигации. В целом, в течении ледового периода грузопотоки через основные порты Мариуполь и Бердянск снижаются более чем в 5 раз по сравнению с летне-осенним периодом плавания.

Проводка судов по магистральным каналам в ледовых условиях характеризуется не только ограниченностью ширины свободного прохода каравана судов, но также и высоким уровнем изменчивости внешней среды и окружающей обстановки.

В таких сложных условиях процесс судоходства сопровождается применением соответствующих нормативных документов по режимам проводки судов и требует оперативного реагирования на внешние факторы.

Результаты анализа условий плавания в ледовой обстановке на Азовском море показывают, что актуальными являются методы и расчеты, учитывающие как природные, так и производственные аспекты транспортного процесса.

**Анализ последних исследований.** Опыт ледовых проводок караванов судов [1, 4, 5] может быть использован для планирования ледовых операций и для составления пошагового алгоритма прогноза состояния ледового покрова по формированию каравана судов.

**Цели и задачи.** В статье исследуются подходы обеспечения безопасности судоходства в Азовском море с учетом ледовой обстановки.

**Основное содержание статьи.** Определение вида, величины и характера взаимодействия судов ледового класса в неарктических южных морях, на примере Азовского моря, связано с двумя обстоятельствами: в процессе проводки суда ледового каравана взаимодействуют с битым льдом в канале за ледаколом, соударяясь с отдельными льдинами; в процессе колки льда и проводки каравана ледакол должен эффективно преодолевать ледовые поля различной интенсивности [6].

Ввиду динамичности льдообразования и ледовых полей, анализу были подвергнуты данные метеопрогнозов за более полувековой период (с 1950 по 2013 годы), которые обрабатывались методами статистики и обобщались в графической, табличной и аналитической формах.

Характер взаимодействия битого льда с корпусом судна, кроме дрейфа ледяных полей и льдин, а также их способности создавать ледовые перемишки в виде торосов, зависит от возраста ледового канала проложенного ледоколом [2].

Важным вопросом, на который следует дать ответ – это установление характера экстремальных ледовых нагрузок на рассматриваемом участке водного пути для последующего выбора энергетических характеристик ледоколов.

По методическим соображениям участок водного пути, в условиях ледового судоходства, в неарктических морях по ледовым условиям можно разделить на три типа: сплошной дрейфующий и торосистый лед (припай); разреженный, включая битый, лед различной сплоченности (в баллах) и свободная водная поверхность.

Поэтому первыми статистическими методами определяются участки трассы, которые пред оставляют серьезные затруднения для плавания по водному пути, например, Азовского моря, и характеризуются протяженностью ледовых трасс (табл. 1), а также шириной прибрежного ледового пояса или расположением кромки льда в открытом море (рис. 1). Среднестатистические данные о протяженности ледовых трасс и положении кромки льда обработаны за период 1950–2013 гг. на средину месяцев.

Таблица 1 – Среднестатистическая протяженность ледовых трасс Азовского моря за период с 1950 по 2013 годы

| №<br>n/n | Трасса                          | Тип зимы  | Протяженность пути во льдах, мили |                  |                   |
|----------|---------------------------------|-----------|-----------------------------------|------------------|-------------------|
|          |                                 |           | в припае                          | в плавающем льду | по свободной воде |
| 1        | Мариуполь – Керчь<br>(115 миль) | суровая   | 110 ± 5                           | –                | –                 |
|          |                                 | умеренная | 22 ± 2                            | 82 ± 2           | 10 ± 4            |
|          |                                 | мягкая    | 5 ± 1                             | 10 ± 5           | 100 ± 5           |
| 2        | Бердянск – Керчь<br>(95 миль)   | суровая   | 92 ± 3                            | –                | –                 |
|          |                                 | умеренная | –                                 | 25 ± 5           | 70 ± 5            |
|          |                                 | мягкая    | –                                 | –                | 90 ± 5            |

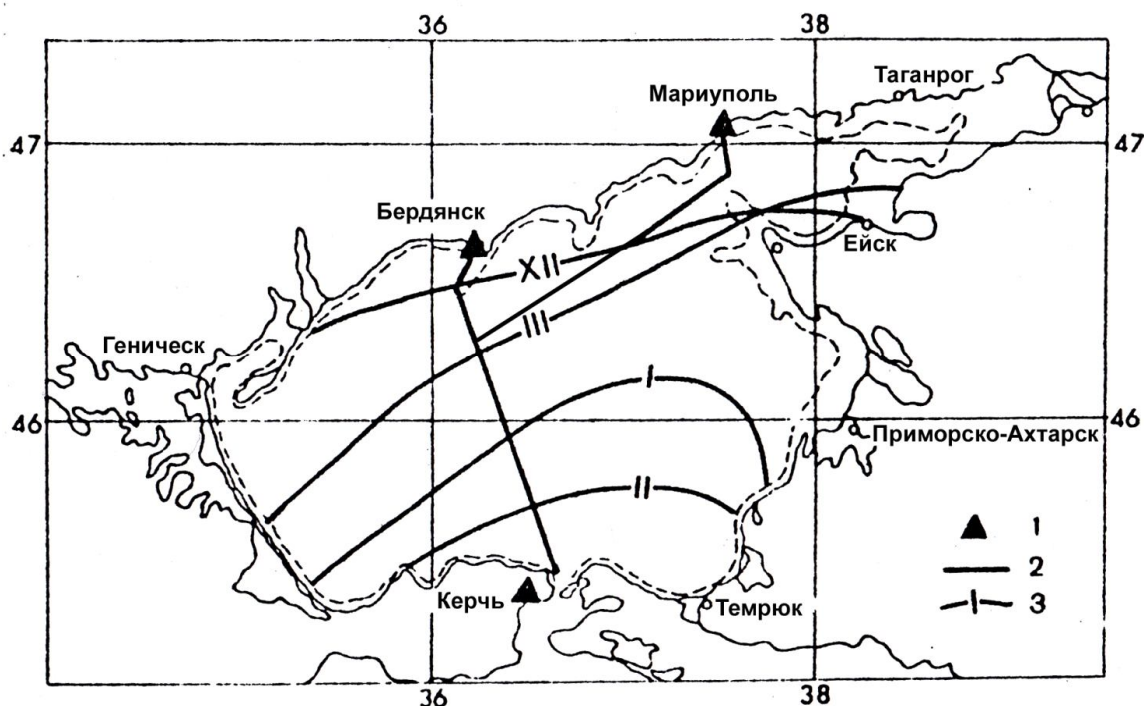


Рисунок 1 – Изохроны положения кромки льдов на ледовых трассах Азовского моря: 1 – морские порты; 2 – морские трассы; 3 – изохроны

Положение кромки льда и распространение его в Азовском море зависит от суровости зимы и носит сложный системный характер. Так, суровые зимы формируются при активной деятельности ветров от N и NE, исходящих из центра действия атмосферных

в Карско-Таймырском районе России и сопровождающихся вторжением арктических масс воздуха на Украину. При таком типе формирования погоды наиболее холодным оказывается район юго-восточной части Украины, включая Азовское море, где отклонения среднесуточной температуры воздуха от нормы составляет – 9–8 °С [3].

В умеренные зимы наблюдается чередование зональных и меридиальных переносов воздушных масс. Причем, кратковременное вторжение арктических масс воздуха не интенсивное по температурному градиенту, а поэтому создают лишь временное похолодание. После чего происходит вторжение теплых масс воздуха с Атлантики. Среднесуточные температурные отклонения воздуха находятся в пределах нормы.

Мягкие зимы формируются при активной деятельности ветров от SW-S-SE из районов Средиземного и Черного морей. При этом среднесуточная температура воздуха над Азовским морем оказывается на 6–7 °С, а иногда и 9–11 °С выше нормы.

Поэтому в суровую зиму протяженность пути Мариуполь – Керчь в ледяном припае составляет 100%, в умеренную – 10% в припае, 60% в плавучем льду и 30% по свободной воде, а в мягкую – 5% в припае, 15% в плавучем льду и 80% по свободной воде. Кроме этого, в припае лед дрейфует под действием ветра и течений в основном от N, NE и SE и течений в основном к Керченскому проливу и торошится от сгонно-нагонных колебаний уровня моря. Ледопроездимость полей к портам Мариуполь и Бердянск по месяцам года весьма изменчива, что связано с изменением параметров погоды таких как сила и направление преобладающего ветра, температуры воды и воздуха. Наибольшие изменения положения изохрон наблюдаются от декабря к январю, смещаясь к югу, и от февраля к марту, смещаясь к северу. Толщина льда также существенно зависит от района плавания и суровости зимы (табл. 2).

Таблица 2 – Среднестатистическая толщина льда в открытой части Азовского моря за период с 1950 по 2013 годы

| Часть моря        | Ледяной период, сутки | Тип зимы, м |             |
|-------------------|-----------------------|-------------|-------------|
|                   |                       | мягкая      | суровая     |
| Северная          | 100 ± 12              | 0,5 ± 0,1   | 0,8 ± 0,2   |
| Западная          | > 100                 | 0,2 ± 0,1   | 0,7 ± 0,1   |
| Восточная         | 100 ± 15              | 0,2 ± 0,1   | 0,7 ± 0,1   |
| Центральная       | 90 ± 10               | 0,2 ± 0,05  | 0,4 ± 0,1   |
| Южная             | 80 ± 10               | 0,3 ± 0,05  | 0,6 ± 0,05  |
| Керченский пролив | 55 ± 5                | 0,42 ± 0,05 | 0,42 ± 0,02 |

Для планирования ледовых операций и составления планов перехода судов методом наименьших квадратов были установлены линейные эмпирические зависимости с определением коэффициентов уравнений прямых сроков наступления ледовых явлений и характеристик ледяного покрова в Азовском море в зависимости от географической широты местонахождения или предстоящего местонахождения судна (табл. 3).

Расчетная толщина льда (102 м) на участках трасс Мариуполь – Бердянск – Керчь при  $\varphi \geq 46^\circ$  на средину месяца М от декабря (в декабре М = 0) до марта (М = 3) включительно следующего года для  $M \in [0; 3]$ :

$$\begin{cases} 10 \cdot (M + 2,0) - \text{в суровую зиму,} \\ 3,3 \cdot (M + 3,0) - \text{в мягкую зиму.} \end{cases}$$

Таблица 3 – Величина коэффициентов уравнения прямых вида, характеризующих явления ледового режима Азовского моря за период (1950 – 2013 гг.)

| № п/п | Явление или характеристика, размерность    | $a$      | $b$      |
|-------|--------------------------------------------|----------|----------|
| 1     | Продолжительность ледового сезона, дни     | – 925    | 22       |
| 2     | Максимальная толщина льда, м               | – 14,716 | 0,33 (3) |
| 3     | Число очищений на зиму, ед.                | 72       | – 1,45   |
| 4     | Первое ледообразование*, дни               | 697      | – 15     |
| 5     | Первое образование забега или припая*, дни | 372      | – 8      |
| 6     | Начало устойчивого ледообразования*, дни   | 571      | – 12,3   |
| 7     | Первое полное замерзание*, дни             | 412      | – 9      |
| 8     | Начало образование припая*, дни            | 579      | – 12,3   |
| 9     | Окончательное замерзание*, дни             | 456      | – 9      |
| 10    | Окончательное разрушение припая*, дни      | – 306    | 8        |
| 11    | Полное очищение ото льда*, дни             | – 228    | 6,52     |

\* если функция положительная, то количество дней отсчитывается по календарю после Нового года; если функция отрицательная, то отсчет дней ведется от Нового года в обратном направлении в предыдущий год.

Максимальная относительная погрешность аппроксимации выражений табл. 3 и формулы (1) не превысила 6% при аргументе, измеряемом в градусах.

Результаты влияния ледовых факторов припая на суда в Азовском море демонстрируются на рис. 2–4.



Рисунок 2 – т/х «MYSTERY К». Флаг St. Vincent Grenadines в ледовом плену Азовского моря



Рисунок 3 – т/х «Аласа 1», флаг Панама в ледовом плену Азовского моря



Рисунок 4 – т/х «MYSTERY К», флаг St. Vincent Grenadines в ледовом плену Азовского моря

Такое состояние судов подтверждает губительную опасность самостоятельно плавания во льдах Азовского моря, а также сложность проводки каравана судов ледоколом.

По результатам анализа разработан словесный алгоритм прогноза состояния ледового покрова для формирования караванов с целью выбора ледоколов и количества проводимых судов, а также планирования регулярных перевозок в этом регионе при объявлении ледовой обстановки.

- Шаг 0. Задаются: тип зимы; период проводки каравана; маршрут проводки; районы плавания.
- Шаг 1. Определяется (по табл. 1) протяженность пути во льдах в зависимости от типа зимы.
- Шаг 2. Определяются широта и долгота начала и конца припая (по изохронам рис. 1) на маршруте проводки по периоду проводки. Промежуточные изохроны устанавливаются интеролированием.

- Шаг 3. Для выбора лидирующего ледокола определяется максимальная толщина ледяного покрова в зависимости от широты северной части местонахождения каравана по формуле (1) и табл. 2.
- Шаг 4. Устанавливается распределение толщин ледяного покрова на трассе в зависимости от типа зимы и районов плавания (по табл. 2) и периода проводки [по формуле (1)] для прогноза передвижения каравана.
- Шаг 5. Для планирования ледовых операций определяются среднестатистические характеристики ледового режима плавания в Азовском море для каждого порта, в зависимости от широты его расположения (по табл. 3).

**Выводы.** В результате анализа методов определения главных размерений судов для плавания на каналах, фарватерах и зонах маневрирования в табличной форме создан метод расчета максимальных и безопасных значений главных размерений судна, комплексно учитывающая основные процессы в элементах системы «судно – водный путь – погода – маневры» для повышения пропускной способности водных путей и отличающаяся тем, что в нем используются апробированные методы расчета, которые в совокупности за счет повышения информативности системы позволяют учесть как природные, так и производственные аспекты транспортного процесса, а не только осадку судна как фактор безопасного судовождения. Однако данный метод требует еще и апробации.

В результате статистического анализа и обработки данных за период с 1950 по 2013 годы разработан метод в виде словесного алгоритма, позволяющий не только качественно, но и количественно устанавливать виды и характер ледовых нагрузок на суда по труднопроходимым участкам морского пути с учетом ледовых явлений и суровости зимы для безопасной проводки судов в период зимней навигации на примере Азовского моря.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голиков В. В. Расчет максимально допустимых проходных характеристик судна в портовых водах / В. В. Голиков, А. А. Лысый // Забезпечення безаварійного плавання суден : матер. наук.-метод. конф. ОНМА, 16–17.11.2011. – Одеса : Видавінформ ОНМА, 2012. – С. 67-69.
2. Лобанов В. А. Моделирование взаимодействия льда с конструкциями / В. А. Лобанов // Вестник научно-технического развития. – 2011. – № 10 (50). – С. 31-39.
3. Лоція Чорного та Азовського морів на води України (101) : посібник. – К. : ДУ «Держгідрографія», 2005. – 320 с.
4. Лысый А. А. Перспективные методы ледовой проводки судов на каналах и фарватерах Азовского моря в зимний период / А. А. Лысый // Судовождение : сб. научн. тр. ОНМА. – Вып. 22. – Одесса : ИздатИнформ ОНМА, 2013. – С.133-141.
5. Миюсов М. В. Стратегия позиционирования транспортного потенциала в глобальном рынке морской торговли / М. В. Миюсов, Н. Т. Примачев, В. В. Винников, С. В. Винников, Н. Н. Примачева, под общ. ред. Н. Т. Примачева. – Одесса : Автограф, 2006. – 234 с.
6. Правила льодового проведення суден (наказ Міністерства інфраструктури України від 12.03.2011 р. за №14, зареєстровано Міністерством юстиції України від 04.04.2011 р. за №447(19185). – 15 с.

## REFERENCES

1. Golikov V. V. Raschet maksimaljno dopustimihkh prokhnodnihkh kharakteristik sudna v portovihkh vodakh / V. V. Golikov, A. A. Lihsihyj // Zabezpechennya bezavariynogo plavannya suden : mater. nauk.-metod. konf. ONMA, 16–17.11.2011. – Odesa : Vidav Inform ONMA, 2012. – S. 67-69.

2. Lobanov V. A. Modelirovanie vzaimodeystviya l'da s konstrukciyami / V. A. Lobanov // Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya. – 2011. – № 10 (50). – S. 31-39.
3. Lociya Chornogo ta Azovskogo moriv na vodi Ukraïni (101) : posibnik. – K. : DU «Derzhgidrografiya», 2005. – 320 s.
4. Lihsihyj A. A. Perspektivnihe metodih ledovoyj provodki sudov na kanalakh i farvaterakh Azovskogo morya v zimniyj period / A. A. Lihsihyj // Sudovozhdenie : sb. nauchn. tr. ONMA. – Vihp. 22. – Odessa : IzdatInform ONMA, 2013. – S.133-141.
5. Miyusov M. V. Strategiya pozicionirovaniya transportnogo potentsiala v globalnom rihinke morskoyj trgovli / M. V. Miyusov, N. T. Primachev, V. V. Vinnikov, S. V. Vinnikov, N. N. Primacheva, pod obth. red. N. T. Primacheva. – Odessa : Avtograf, 2006. – 234 s.
6. Pravyla lodovoho provedennia suden (nakaz Ministerstva infrastruktury Ukrainy vid 12.03.2011 r. za #14, zareiestrovano Ministerstvom yustytzii Ukrainy vid 04.04.2011 r. za #447(19185). – 15 s.

**Лисий А.О. ВПЛИВ ФАКТОРІВ КРИЖАНОГО ПОКРИВУ НА СУДНА ЛЬДОВОГО КЛАСУ ЯК ОБ'ЄКТ УПРАВЛІННЯ**

*У статті обґрунтовано необхідність використання в управлінні виробничою діяльністю морських портів аналізу та прогнозування сезонних процесів. Наведено статистичні дані, що показують суттєве зменшення вантажообігу портів Азовського моря в період льодової обстановки. Дано визначення поняття фактора сезонності, під яким розуміється регулярне періодичне настання певних погодних умов, пов'язаних зі зміною часу року. Підкреслюється, що сезонність виражається у вигляді коливальних процесів, які описуються в економіко-математичних дослідженнях індексами і коефіцієнтами сезонності. Розроблений спеціальний підхід до формування інформаційної бази, що враховує різноманітні форми виробничої діяльності порту в умовах льодової обстановки, що задовольняє вимоги безперервного планування та регулювання роботи порту. Запропонований і розроблений словесний алгоритм прогнозу стану льодового покриття для формування караванів з метою статистичного прогнозування, що включає всі стадії обробки динамічних рядів: аналіз сезонних процесів і планування регулярних перевезень у регіоні при оголошенні льодової обстановки. Ключові слова: льодова обстановка, судноплавство, сезонні коливання, інформаційна база, прогнозування, індекси сезонності, словесний алгоритм, коливання вантажного обороту.*

**Lysiy A.A. THE INFLUENCE OF ICE COVER FOR ICE CLASS SHIPS AS A CONTROL OBJECT**

*The article proves the necessity of use in the management of production activities of seaports analysis and forecasting of seasonal processes. The statistical data showing a significant reduction in the turnover of the ports of the Azov sea in the period of ice conditions. Given the definition of the seasonal factor, which is defined as the regular periodic occurrence of certain weather conditions associated with the change of seasons. It is emphasized that the seasonality is expressed in the form of oscillatory processes, which are described in the economic-mathematical research indices and coefficients of seasonality. Developed a special approach to the formation of the information base that takes into account various forms of industrial activity of the port in terms of ice conditions, satisfying the demands continuous planning and management of port operations. Proposed and developed a verbal prediction algorithm the state of the ice cover to form caravans for statistical forecasting including all stages of processing of time series: seasonal analysis and planning processes regular traffic in the region with the announcement of ice. Keywords: ice conditions, navigation, seasonal fluctuations, information base, forecasting, seasonality index, verbal algorithm, the fluctuation of freight turnover.*

© Лисий А.О.

Статтю прийнято  
до редакції 8.04.15

## СУЧАСНИЙ СТАН СУДНОВОЇ ГІДРОХВИЛЬОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЙОГО АНАЛІЗ

**Настасенко В.О., Блах І.В.**

*Херсонська державна морська академія*

*У роботі проведений аналіз конструкцій і техніко-економічних показників сучасних суднових гідрохвильових електро-енергетичних систем провідних закордонних виробників. Робота є актуальною та важливою, оскільки дозволяє не тільки економити традиційне паливо на базі нафти і газу, а й зменшити викиди CO<sub>2</sub> й інших шкідливих речовин, що відповідає вимогам сучасності й екологічним програмам ООН. Показано, що потужності відомих закордонних систем недостатні для повної заміни суднових ДВЗ, що обмежує їх використання на транспортному флоті. Однак запропоновані на рівні винаходів гідрохвильові електро-енергетичні системи маятникового типу усувають вказані недоліки та можуть використовуватися на транспортних судах і на прибережних електростанціях.*

*Ключові слова: нетрадиційна суднова енергетика, гідрохвильова електроенергетика.*

**Вступ.** Зв'язок проблеми з основними науковими та прикладними напрямками. Робота відноситься до галузей суднобудування та нетрадиційної енергетики, а саме: гідрохвильової і до можливостей її використання на транспортному флоті. Потреба рішення даних проблем обумовлена тим, що в сьогодення на транспортному флоті використовується паливо на базі нафти і газу, а добові витрати його становлять від 10 тон для суден типу ріка-море, до 350 тон для океанських суден магістрального типу. Оскільки загальна кількість транспортних суден світу перевищує 10 тис. шт., тому, в умовах прогнозів ЮНЕСКО [1] про вичерпність запасів нафти в ХХІ столітті, гостро стоїть питання економії палива і повної його заміни. Ще більш гострою є проблема зменшення викидів CO<sub>2</sub> та інших шкідливих речовин при його спалюванні, що відповідає вимогам сучасності та екологічним програмам ООН.

Оскільки раніше економія палива була проблемою в основному судновласників, тому відносно далекі перспективи його повного вичерпання (50 – 100 років [1]), не спонукали їх до розробки альтернативної суднової енергетики, однак вимоги зменшення шкідливості зробили цю проблему нагальною проблемою сьогодення, тому до створення екологічно чистих суден долучилися провідні суднові держави світу та країни «зручного прапору», в т.ч. Ліберія [2].

**Аналіз стану проблеми та постановка задач дослідження.** Серед основних видів альтернативної енергетики найбільш поширеною є вітрова, що обумовлено її широким використанням на суходолі [3] та в судноплавстві [4], оскільки в недалекому минулому (150–100 років тому) флот був вітрильним. Велика увага також приділяється сонячній енергетиці [5], однак 3-й напрямок – використання на судах гідрохвильової енергетики – в роботі [4] взагалі вважається неможливим, але цей висновок спростовується роботами [6 – 10].

Розв'язання суперечностей і відкидання помилкових висновків, які гальмують прогрес розвитку 3-го напрямку, є важливою задачею, тому в даній роботі основна увага приділена аналізу найбільш відомих суднових гідрохвильових енергетичних систем і розробці нових виконань їх конструкцій. Оскільки від рішення даної проблеми залежить можливість повної відмови від нафти та природного газу, як палива для суден, виконувана робота є актуальною і має велике практичне значення.

**Метою даної роботи** є аналіз новітніх суднових гідрохвильових електроенергетичних систем і розробка найбільш ефективних систем та умов їх використання на транспортному флоті, здатних повністю замінити головні суднові ДВЗ.

**Наукову новизну** роботи складає техніко-економічний аналіз відомих суднових гідрохвильових електроенергетичних систем і принципово нового напрямку розвитку

суднової гідрохвильової енергетики – на базі створеного в роботах [6–10] нового класу гідрохвильових електроенергетичних генераторів – маятникового типу.

Оскільки помилковість висновків роботи [4] та перші відомі розробки гідрохвильових енергетичних установок були розглянуті ще в роботах [9, 10], то в даній роботі основна увага приділена сучасним проектам.

**Аналіз потужностей сучасних суднових гідрохвильових енергетичних систем.** Не зважаючи на те, що у проекті Японської суднобудівельної компанії Nippon Yusen Kaisha (NYK) – «Super Eco Ship 2030» [11] не передбачена гідрохвильова енергетика, розробки у даному напрямку ведуться в багатьох країнах світу, в т.ч. – в Україні [6–10].

У проекті «E/S ORCELLE» судна 2025 року Шведської фірми Wallenius Wilhelmsen [12], запропоноване використання 3-х видів енергії – вітру та сонця в жорстких поворотних вітрилах із фотодіодним покриттям, а також гідрохвильової, за рахунок коливання хвилями платформ – плавників, встановлених на днищі корпусу (рис. 1). При їх коливанні вгору, через систему важелів і поршень, закачується вода в гідроциліндр, а при коливанні вниз поршень видавлює з цього гідроциліндра струмінь води під великим тиском, направлений на лопатні водяного колеса, яке пов'язане з валом ротора електрогенератора й обертає його.

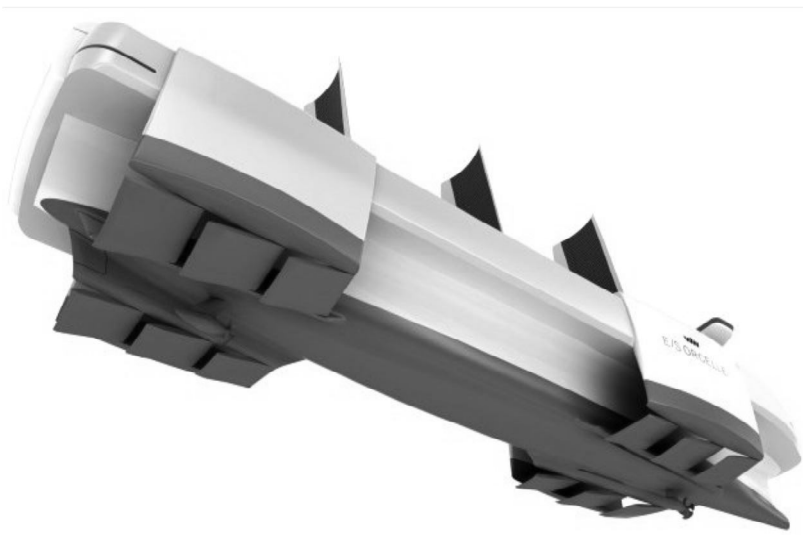


Рисунок 1 – Гідрохвильова енергетична установка проекту судна «E/S ORCELLE» (Швеція)

Аналіз енергетичних можливостей даної гідрохвильової системи показав, що при площі кожної з 12 платформ-плавників по  $210 \text{ м}^2$ , їх загальна потужність буде залежати від кута та частоти їх коливання хвилями, які, в свою чергу, залежать від висоти і періоду хвиль.

При висоті хвиль від підшви до гребня  $h = 1 \text{ м}$ , які діють більшу частину часу рейсу (тому саме ця висота приймається відправною у всіх виконуваних у даній роботі розрахунках потужностей гідрохвильових електроенергетичних установок), амплітуда  $a = \pm \frac{1}{2}h$  їх коливань становить  $\pm 0,5 \text{ м}$ , а кути  $\beta$  коливання платформи розмірами  $l \times b = 14 \times 15 \text{ м}$  становлять:

$$\beta = \arcsin \left( \frac{\pm a}{l} \right) = \arcsin \left( \frac{\pm 0,5}{14} \right) = \pm 2^\circ. \quad (1)$$

За спрощеною методикою потенційна енергія платформи-плавника може бути оцінена силою  $P$  дії на неї води, яка має щільність  $\rho = 1 \text{ т/м}^3$  і об'єм  $V$  в межах трикутної призми довжиною  $l = 14 \text{ м}$ , шириною  $b = 15 \text{ м}$  і висотою  $a = 0,5 \text{ м}$ :

$$V = \frac{1}{2} l b a = \frac{1}{2} \times 14 \times 15 \times 0,5 = 52,5 (\text{м}^3); \quad (2)$$

$$P = g\rho V = 9,81 \times 1 \times 52,5 = 515 \text{ (кН)}, \quad (3)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81(\text{м/с}^2)$ .

При цьому утворюється момент  $M$  обертання однієї ( $n = 1$ ) платформи-плавника, величина якого становить:

$$\begin{aligned} M &= P \sum_n^0 (a_1 l_1 + a_2 l_2 + \dots a_n l_n) = P \sum_n^0 \left( \frac{a_1 + a_2 + \dots a_n}{2} \times \frac{l_1 + l_2 + \dots l_n}{2} \right) = \frac{1}{4} P \int_n^0 a l = \\ &= P \frac{1}{4} n a l = 515 \times \frac{1}{4} \times 1 \times 0,5 \times 14 = 901 \text{ (кНм)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Оскільки обертальний момент  $M$  складає роботу платформи-плавника, а енергія – це здатність виконати роботу, тоді їх енергія за 1 робоче коливання вниз, становить величину  $E$ :

$$E = M = 0,9 \text{ (МДж)}. \quad (5)$$

При висоті хвиль 1 м період  $\tau$  їх коливань становить 2,61 с. Тоді при к.к.д. системи перетворення механічної енергії коливання хвиль в електричну, а електричної – в механічну енергію обертання ходового гвинта  $\eta = 0,65$ , потужність двох перших платформ-плавників гідрохвильової системи становитиме величину  $N$ :

$$N = 2 \frac{\eta E}{\tau} = 2 \times \frac{0,65 \times 0,9}{2,61} = 0,45 \text{ (МВт)}. \quad (6)$$

У даній системі ефективно діють тільки 2 передні платформи-плавники в передній і задній секціях, оскільки досвід використання плотів Коккерелля [13] показав, що перша платформа відбирає  $\eta_1 \approx 80\%$  потужності хвиль, друга –  $\eta_2 \approx 20\%$ , а третя – практично не працює. Тому сумарна потужність 2-х блоків системи становить величину  $\Sigma N$ :

$$\Sigma N = 2\eta_1 N + 2\eta_2 N = 2 \times 0,8 \times 0,45 + 2 \times 0,2 \times 0,45 = 0,9 \text{ (МВт)}. \quad (7)$$

Оскільки кількість блоків з платформ-плавників більша ніж 2 неможлива, виходячи з вимоги відтворення хвиль вздовж довжини корпусу судна, тому даної потужності недостатньо для живлення 2-х його ходових двигунів потужністю по 4 МВт [12] і гідрохвильова енергія в даній системі є додатковою.

При висоті хвиль  $h = 5$  м (зони штормів із більшою висотою хвиль рекомендується суднам обходити), їх амплітуда становить величину  $a_{\max} = \pm 2,5$  м, а період їх коливань становить  $\tau_{\max} = 7,62$  с, тоді максимальна потужність 2-х перших платформ-плавників даної гідрохвильової системи становитиме величину  $N_{\max}$ , а сумарна потужність – величину  $\Sigma N_{\max}$ :

$$V = \frac{1}{2} l b a = \frac{1}{2} \times 14 \times 15 \times 2,5 = 131,2 \text{ (м}^3\text{)}; \quad (8)$$

$$P = g\rho V = 9,81 \times 1 \times 131,2 = 1288 \text{ (кН)}; \quad (9)$$

$$E_{\max} = M_{\max} = P_{\max} \frac{1}{4} a_{\max} l = 1,288 \times \frac{1}{4} \times 2,5 \times 14 = 11,27 \text{ (МНм)}; \quad (10)$$

$$N_{\max} = \frac{\eta E_{\max}}{\tau_{\max}} = \frac{0,65 \times 11,27}{7,62} = 0,96 \text{ (МВт)}; \quad (11)$$

$$\Sigma N = 2\eta_1 N + 2\eta_2 N = 2 \times 0,8 \times 0,96 + 2 \times 0,2 \times 0,96 = 1,92 \text{ (МВт)}. \quad (12)$$

Даної потужності теж недостатньо для живлення і повної заміни 2-х ходових двигунів потужністю по 4 МВт.

*Недоліки системи:* 1) мала потужність, оскільки нахил плавників, тиск на них води і частота їх коливань невеликі, 2) дія задніх плавників неефективна, оскільки хвилі майже повністю передають енергію 2-м переднім плавникам, 3) відносна складність перетворення коливального руху в обертальний рух ротора електрогенератора, 4) зовнішнє розташування плавників-платформ, яке веде до незахищеності їх від дії сильних хвиль у шторм і великої ймовірності пошкодження ними, а також значного руйнування при посадці судна на міліну.

Інший проект гідрохвильової енергетичної системи судна, створений професором лабораторії Subsea Technology of Corpe (Бразилія) – Стефаном Сегеном [14], показаний на рис. 2. Важелі 36 з обох боків корпусу 33 баржі рухаються при підйомі і опусканні хвилями поплавків 34 і створюють тиск в ємності з водою, аналогічно попередньому варіанту, тому процес перетворення енергії та к.к.д. даної системи теж аналогічні попередньому варіанту.

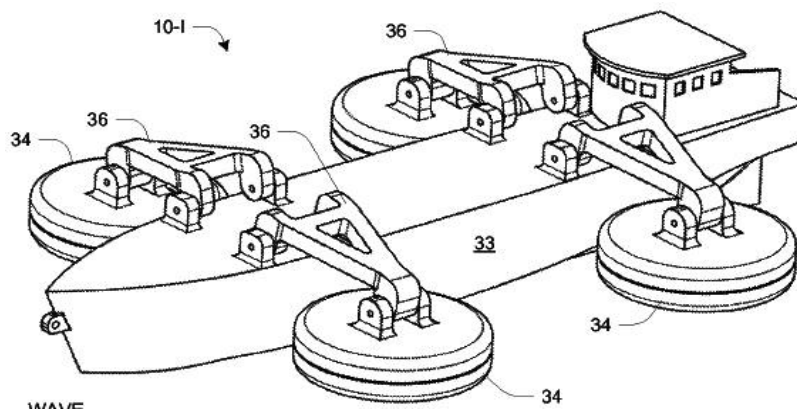


Рисунок 2 – Гідрохвильова суднова система професора Стефана Сегена (Бразилія)

Програма даних досліджень і технологічного розвитку гідрохвильової енергетики проводиться Національним Агентством Електричної Енергії (NAEE) і підтримується урядом Бразилії.

За спрощеною методикою енергетичний потенціал даної гідрохвильової системи може бути оцінений із розрахунку дії хвиль висотою 1 м. При довжині важелів  $l = 5$  м і діаметрі поплавків  $d = 5$  м виштовхувальна сила 1-го поплавка, зануреного на глибину  $h = 1$  м, становить величину  $P$ , енергія – величину  $E$ , потужність – величину  $N$ , а сумарна потужність 4-х поплавків (більша кількість обмежена за умови відновлення дії хвиль на довжині судна) становить величину  $\sum N$ :

$$P = 9,81 \rho \frac{\pi D^2 h}{4} = 9,81 \times 1 \times \frac{3,14 \times 5^2 \times 1}{4} = 0,19 \text{ (МН)}; \quad (13)$$

$$E = M = Pl = 0,19 \times 5 = 0,95 \text{ (МДж)}; \quad (14)$$

$$N = \frac{\eta E}{\tau} = \frac{0,65 \times 0,95}{2,61} = 0,24 \text{ (МВт)}; \quad (15)$$

$$\sum N = 4N = 4 \times 0,24 = 0,96 \text{ (МВт)}. \quad (16)$$

При максимальній висоті хвиль 5 м потенційна енергія зросте в 5 разів і становитиме 4,75 МДж, а потужність при  $\tau_{max} = 7,62$  с, досягне  $\sum N = 1,6$  МВт, якої може бути достатньо для повної заміни ДВЗ на даному судні, але така висота хвиль – не часто трапляється на переході судна, тому більш реальною є середня потужність у 1 МВт.

Однак подальший аналіз даної системи показав, що пряме перенесення прибережної гідрохвильової системи (рис. 3) на судно – є помилковим, оскільки до берега хвили йдуть у напрямку важелів, а на судні, яке в більшості випадків долає хвилі носом – поперек до них, окрім того, корпус судна теж коливається хвилями, що відповідно зменшує енергетичний потенціал (16), щонайменше – у 2 рази.

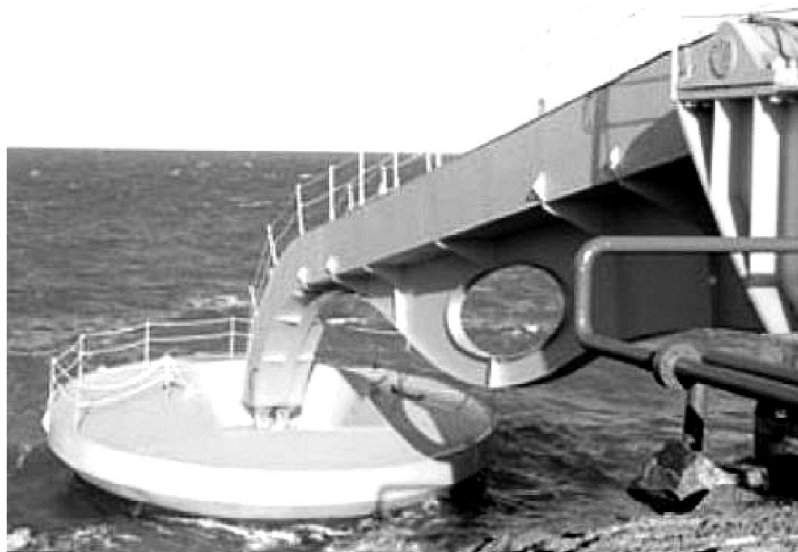


Рисунок 3 – Прибережне розташування поплавків гідрохвильової електростанції

*Інші недоліки даної системи:* 1) складність перетворень руху хвиль в обертанні ротора електрогенератора, 2) потреба у важелях і поплавках великих розмірів, від об'єму яких залежить виштовхувальна сила та потенційна енергія системи, 3) збільшення площини поперечного перетину й опору руху судна введеними поплавками, що відбирає утворену ними енергію, 4) потреба підйому важелів і поплавків при причалюванні судна, 5) складність розміщення на палубі вантажів, 6) зовнішнє розташування системи та небезпека пошкодження її хвилями у сильний шторм, з можливістю позбавлення судна ходу.

Розвитком даної системи є проект прибережної гідрохвильової електростанції [15], показаний на рис. 4, що накопичує електричну енергію в акумуляторах, які транспортуються на берег. Але дана система займає великий об'єм на палубі або у трюмах судна, що обмежує можливості її використання в судновому варіанті.

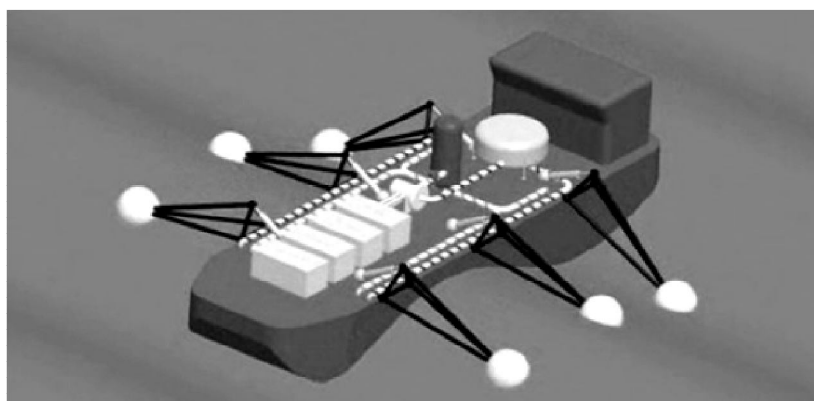


Рисунок 4 – Гідрохвильова система з накопиченням електроенергії в акумуляторах з наступною доставкою їх на берег

Таким чином, проведений аналіз показав, що всі відомі суднові гідрохвильові системи [12, 14, 15] мають суттєві недоліки, тому потрібне їх удосконалення.

### Розробка найбільш досконалих гідрохвильових електроенергетичних систем.

Усувають вказані недоліки гідрохвильові електрогенераторні системи маятникового типу [6 – 10]. Найбільш досконалі з них – системи 4-го покоління, показані на рис. 5, у яких у трюмі корпусу 1 судна вантаж 2, яке воно перевозить, розміщений у сегменті з дуговою основою 3, яка вільно встановна на опорні ролики 4. Це надає вантажу стійку орієнтацію до центра Землі, тому він має можливість коливального руху відносно положень *I* та *II* корпусу судна при нахилі його хвилями, яке через опорні ролики і редуктори далі передається валам роторів електрогенераторів. При цьому, вилучаються холості ходи, які мають місце у вище розглянутих системах, тому її потужність щонайменше в 2 рази більша, ніж у відомих систем.

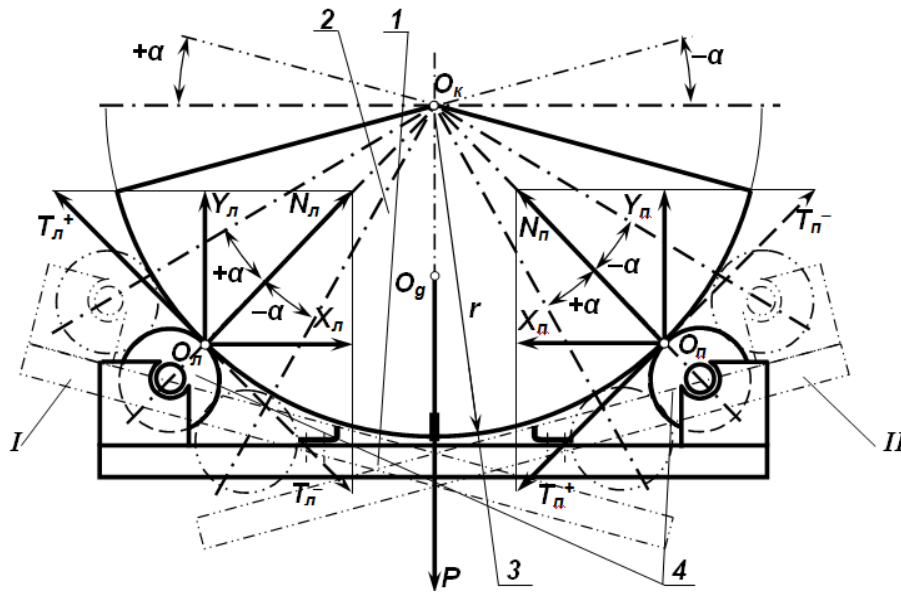


Рисунок 5 – Установка сектора вантажу на опорні ролики і схема дії сил в гідрохвильовій енергетичній установці 4-го покоління за заявкою на патент РФ № 2014103002.

Установка вантажів можлива вздовж і поперек корпусу судна (рис. 6), що дозволяє використовувати дану систему у судновому варіанті.

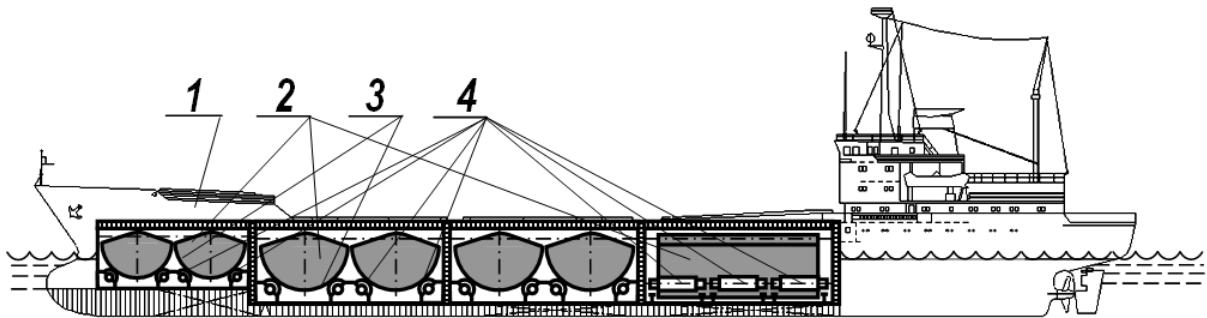


Рисунок 6 – Варіанти поперечного і повздовжнього розміщення в корпусі 1 судна сегментних трюмів 2 з генеральним вантажем, які мають дугову основу 3, встановлену на опорних роликах 4 для сприйняття ними різних напрямків підходу хвиль

Аналіз даної системи, проведений за спрощеною методикою показав (табл. 1), що її потужності достатньо для повної заміни головних судових ДВЗ.

Таблиця 1 – Енергетичний потенціал гідрохвильових електрогенераторів маятникового типу 4-го покоління з загальним вантажем 2250 т, встановленим на судні довжиною 70 м

| Параметр                                                                                                                                   | Формула для розрахунку                                          | Висота хвиль $h_e$ , м |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                                                                                            |                                                                 | 0,5                    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
| Довжина хвилі: $\lambda$ , м                                                                                                               | $\lambda = \sqrt[3]{\left(\frac{h_e}{0,17}\right)^4}$           | 4,21                   | 10,6  | 26,8  | 45,9  | 67,4  | 90,8  |
| Період руху хвилі: $\tau$ , с                                                                                                              | $\tau = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \approx 0,8\sqrt{\lambda}$ | 1,64                   | 2,61  | 4,14  | 5,42  | 6,57  | 7,62  |
| Кут нахилу корпусу хвилями: $\pm\alpha$ , град.                                                                                            | $\pm\alpha = \pm \arcsin \frac{2h_e}{L_k}$                      | 0,82                   | 1,64  | 3,28  | 4,92  | 6,56  | 8,21  |
| Радіус коливання вантажу: $r_k$ , (м)                                                                                                      | Обраний конструктивно                                           | 7,5                    | 7,5   | 7,5   | 7,5   | 7,5   | 7,5   |
| Окружні сили дії вантажу на обох роликах: $\sum T_{n(l)}$ (МН)                                                                             | $\sum T_{n(l)} = 2 \frac{\sum mg}{2 \cos 45^\circ}$             | 31,22                  | 31,22 | 31,22 | 31,22 | 31,22 | 31,22 |
| Потенційна енергія хитамиці вантажів: $\sum E_p$ (МДж)                                                                                     | $\sum E_p = \sum T_{n(l)} r_k \frac{\alpha\pi}{180^\circ}$      | 3,350                  | 6,700 | 13,40 | 20,10 | 26,81 | 33,55 |
| Потужність хитамиці вантажів: $\sum N_p$ (МВт)                                                                                             | $\sum N_p = \eta \frac{2\sum E_p}{\tau_e}$                      | 3,063                  | 3,851 | 4,855 | 5,537 | 6,120 | 6,504 |
| Потужність хитамиці за напрямком руху судна: $\frac{2}{3}\sum N_p$ (МВт)                                                                   | $\frac{2}{3}\sum N_p$                                           | 2,043                  | 2,567 | 3,237 | 3,715 | 4,080 | 4,403 |
| Питома потужність системи при висоті хвиль 1 м: $\Delta N_p = 228 \text{ Вт}/(\text{т}\cdot\text{м})$ , повна $\sum N_p = 3,8 \text{ МВт}$ |                                                                 |                        |       |       |       |       |       |

Перевагами запропонованої системи є відносна простота перетворень енергії та розміщення всіх елементів всередині корпусу судна, що забезпечує їй повну захищеність від дії хвиль, оскільки корпус судна розрахований на їх сприйняття й ефективну протидію.

#### Висновки

1. Проведений аналіз показав, що потужності відомих гідрохвильових енергетичних установок недостатні для повної заміни головних ДВЗ суден, а їх к.к.д.  $\approx \frac{1}{2} \times (65 \dots 68)\%$ .

2. Найкращі показники з потужності та к.к.д. забезпечують маятникові гідрохвильові електрогенераторні системи 4-го покоління – опорно-дугового типу [7], тому їх доцільно використовувати для заміни ДВЗ суден, оскільки їх питомі потужності при висоті хвиль 1 м досягають 228 Вт на 1 т корисної маси та на 1 м радіусу їх коливання та зростають у 1,7 разів при висоті хвиль 5 м, тому вони здатні на сьогодні повністю замінити головні судові ДВЗ.

3. Однак їх ефективне використання обмежене довжиною суден до 150 м та осадом до 3...4 м, а найкращі показники мають судна довжиною до 70 м. Для суден більших розмірів – більш доцільна заміна головного ДВЗ на парові або газові турбіни та на ДВЗ, що працюють на паливі з водню, виробленого електролізом від електричного струму маятникових систем.

4. Усі запропоновані перетворювачі енергії хвиль маятникового типу розташовані в середині базового корпусу судна, тому вони не мають прямого контакту з хвилями та не можуть ними руйнуватися або пошкоджуватися.

5. Однак недоліком маятникових гідрохвильових електрогенераторів 4-го покоління є вільна установка сегментів з вантажами, що більш небезпечно при

перекиданні судна, ніж їх підвішування в маятникових гідрохвильових системах 3-го покоління.

6. Впровадження даних систем не потребує великих витрат і можливе технологічно на вже існуючому промисловому виробництві суднобудівних і електробудівних підприємств, тому воно може бути швидко здійснене та рекомендується для всіх фірм – виробників суден і нетрадиційних електростанцій в усіх провідних морських державах світу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кемпбел К. Грядущий нефтяной кризис / К. Кемпбел. – М. : Группа независимых издателей, 1997. – 210 с.
2. Бержерон С. Liberian Registry запускает проект инициативы по экологически чистым судам // Работник моря. – № 03 (67) от 11.02.2015. – С. 2.
3. Леонов В. Е. Техничко-економический анализ эффективности работы ветроэлектро-станций // Науковий вісник ХДМІ : науковий журнал. – Херсон : ХДМІ, 2009. – № 1 (1). – С. 115-123.
4. Шурляк В. К. Применение альтернативных видов энергии и альтернативных топлив на морских судах // СПГ как альтернативное топливо для морских судов : Материалы Всерос. семинара – С-Петербург : ГМА им. Макарова, 2012. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.korabel.ru/filemanoger/OTHER/0/0/3](http://www.korabel.ru/filemanoger/OTHER/0/0/3)
5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [energetika.in.ua/ru/books/book-S/partion-2/2-1/2-1-2](http://energetika.in.ua/ru/books/book-S/partion-2/2-1/2-1-2)
6. Патент Российской Федерации на изобретение № 2396673 МПК H02K 19/00 Генератор электрического тока, его варианты и способы их установки. Заявка № 2009100832/09 от 12.01.09. Авт. изобр. Настасенко В. А. // БИ № 22 от 10.08.2010.
7. Заявка на патент Российской Федерации на изобретение № 2014103002 от 28.01.14. Плавающая прибрежная гидроволновая электростанция. Авт. Настасенко В. А.
8. Настасенко В. О. Нова концепція розвитку двигунів внутрішнього згорання / В. О. Настасенко. – Херсон, ХДМІ, 2011. – 26 с.
9. Настасенко В. О. Сучасна суднова гідрохвильова енергетика та її розвиток // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Т. 2. – Херсон : ХДМА, 2013. – С. 126-132.
10. Настасенко В. О. Гідрохвильова енергетика та нові можливості підвищення її енергетичного потенціалу // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування : Матеріали Всеукр. наук.-практич. конф. – Херсон : ХДМА, 2013. – С. 298-302.
11. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.nyk.com/english/release/31/NE\\_090422.html](http://www.nyk.com/english/release/31/NE_090422.html)
12. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=wAIAC4vU4IM>
13. Вершинский Н. В. Энергия океана / Н. В. Вершинский. – М. : Наука, 1986. – 152 с.
14. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.newscientist.com/article/mg21128205.600-wavepower>
15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gizmag.com/wave-power-system-on-ships/19251/>

## REFERENCES

1. Kempbel K. Gryaduthiyj neftyanoyj krizis / K. Kempbel. – M. : Gruppya nezavisimihkh izdateleyj, 1997. – 210 s.
2. Berzheron S. Liberian Registry zapuskaet proekt iniciativih po ehkologicheski chistihm sudam // Rabotnik Morya. – № 03 (67) ot 11.02.2015. – S. 2.
3. Leonov V. E. Tekhniko-ehkonomicheskijj analiz ehffektivnosti rabotih vetroehlektro-stancijj // Naukoviyj visnik KhDMI : naukoviyj zhurnal. – Kherson : KhDMI, 2009. – № 1 (1). – S. 115-123.
4. Shurlyak V. K. Primenenie aljternativnihkh vidov ehnergii i aljternativnihkh topliv na morskikh sudakh // SPG kak aljternativnoe toplivo dlya morskikh sudov : Materialih Vseros. seminaru – S-Peterburg : GMA im. Makarova, 2012. [Elektronniyj resurs]. – Rezhim dostupu: [www.korabel.ru/filemanager/OTHER/0/0/3](http://www.korabel.ru/filemanager/OTHER/0/0/3)
5. [Elektronniyj resurs]. – Rezhim dostupu: [energetika.in.ua/ru/books/book-S/partion-2/2-1/2-1-2](http://energetika.in.ua/ru/books/book-S/partion-2/2-1/2-1-2)
6. Patent Rossijskoyj Federacii na izobretenie № 2396673 MPK H02K 19/00 Generator ehlektricheskogo toka, ego variantih i sposobih ikh ustanovki. Zayavka № 2009100832/09 ot 12.01.09. Avt. izobr. Nastasenko V. A. // BI № 22 ot 10.08.2010.
7. Zayavka na patent Rossijskoyj Federacii na izobretenie № 2014103002 ot 28.01.14. Plavuchaya pribreznaya gidrovolnovaya ehlektrostanciya. Avt. Nastasenko V. A.
8. Nastasenko V. O. Nova koncepciya rozvitku dviguniv vnutrishnjogo zgoryannya / V. O. Nastasenko. – Kherson, KhDMI, 2011. – 26 s.
9. Nastasenko V. O. Suchasna sudnova gidrokhviljova energetika ta її rozvitok // Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti. Materiali Mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencii. T. 2. – Kherson : KhDMA, 2013. – S. 126-132.
10. Nastasenko V. O. Gidrokhviljova energetika ta novi mozhlivosti pidvithennya її energetichnogo potencialu // Suchasni energetichni ustanovki na transporti, tekhnologii ta obladnannya dlya ikh obslugovuvannya : Materiali Vseukr. nauk.-praktich. konf. – Kherson : KhDMA, 2013. – S. 298-302.
11. [Elektronniyj resurs]. – Rezhim dostupu: [http://www.nyk.com/english/release/31/NE\\_090422.html](http://www.nyk.com/english/release/31/NE_090422.html)
12. [Elektronniyj resurs]. – Rezhim dostupu: <https://www.youtube.com/watch?v=wAIAC4vU4IM>
13. Vershinskiyj N. V. Ehnergiya okeana / N. V. Vershinskiyj. – M. : Nauka, 1986. – 152 s.
14. [Elektronniyj resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.newscientist.com/article/mg21128205.600-wavepower>
15. [Elektronniyj resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.gizmag.com/wave-power-system-on-ships/19251/>

### **Настасенко В.А., Блах И.В. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СУДОВОЙ ГИДРОВОЛНОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЕГО АНАЛИЗ**

*В работе проведен анализ конструкций и технико-экономических показателей современных судовых гидроволновых электро-энергетических систем ведущих зарубежных производителей. Работа является актуальной и важной, поскольку позволяет не только экономить традиционное топливо на базе нефти и газа, но и уменьшить выбросы CO<sub>2</sub> и других вредных выбросов, что отвечает современным требованиям и экологическим программам ООН. Показано, что мощности известных зарубежных систем недостаточны для полной замены судовых ДВС, что ограничивает их использование на транспортном флоте. Однако предложенные на уровне изобретений гидроволновые электро-энергетические системы маятникового типа устраняют указанные недостатки и могут использоваться на транспортных судах и прибрежных электростанциях.*

*Ключевые слова: нетрадиційна суднова енергетика, гідрохвильова електроенергетика.*

**Nastasenko V.A., Blah I.V. AN-TO-DATE CONDITION OF VESSEL HYDROWAVE POWER AND ITS ANALYSIS**

*The work deals with analysis of the designs and technical and economic index of modern vessel hydrowave electric and power systems of leading foreign manufacturers/ This work is urgent and important as it allows not only to save fuel based on oil and gas but also to reduce discarding CO<sub>2</sub> and other harmful substances that meets the demands of modern life and ecologic programmes of the UNO. It is pointed out that the power of famous foreign systems is insufficient for substituting vessel internal combustion engines completely which limits their application on transport fleet. However hydrowave electro-power systems of pendulum type suggested as equal to an invention can eliminate the drawbacks mentioned above and can be used on transport vessels and coastal power stations.*

*Keywords: nontraditional vessel power, hydrowave electric power.*

© Настасенко В.О., Блах І.В.

Статтю прийнято  
до редакції 10.05.15

## РОЛЬ МОРСКОГО АГЕНТА В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ СЭУ

*Петров И.М.*

*Одесская национальная морская академия*

*В статье рассмотрены проблемы повышения эффективности функционирования эргатических систем управления (ЭСУ) эксплуатацией СЭУ во время стоянки судна в порту. Уточнены современные подходы к понятию эксплуатации СЭУ, на основании чего сформулированы классификационные признаки и выделены факторы, влияющие на ее функционирование, в том числе субъективные. Обоснована возможность достижения цели благодаря совершенствованию деятельности морского агента в группе операторов. Предложены характеристики, отображающие степень участия агента в повышении эффективности функционирования ЭСУ эксплуатацией СЭУ при стоянке судна в порту.*

*Ключевые слова:* морской агент, эффективность, судовая энергетическая установка – СЭУ, эргатическая система управления – ЭСУ, жизненный цикл, техническая эксплуатация, техническое обеспечение, надежность, быстрдействие, безошибочность, восстанавливаемость.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими результатами.** В последнее время возросли требования к эффективности эксплуатации морских судов и их энергетических установок (СЭУ).

Будем рассматривать СЭУ как сложную организационно-техническую систему, характерными признаками которой являются участие в ней людей – операторов, машин, внешней среды, а также наличие возмущающих факторов, разнообразие состояний и большое число внутренних связей между элементами подсистем [1].

Одним из важных этапов жизненного цикла СЭУ, требующего непрерывного управления [2], является эксплуатация, т.е. та часть жизненного цикла судна, на протяжении которого оно используется по назначению. Мероприятия по эксплуатации СЭУ являются элементами технической эксплуатации флота. Главная цель этих мероприятий – максимально продлить использование судна по назначению (эксплуатационное время) за время его службы при условии сохранения требуемого уровня надежности. В течение всего срока эксплуатации судна параллельно выполняются три цикла: правовой, физический и экономический, которые на рис. 1 показаны в виде горизонтальных блоков. Стадия эксплуатации судна разбита условно на три этапа, представленные в виде вертикальных блоков: прием в эксплуатацию, непосредственно сама эксплуатация, списание.

Техническая эксплуатация является сложным технологическим процессом, который требует правильной организации и своевременного планирования. Основой технической эксплуатации флота (ТЭФ) является техническое обеспечение судов. Согласно Францеву И. Р., под ним понимается [3] ремонт, техническое обслуживание судна и его функциональных комплексов, обеспечение качества рабочих сред на судне, используемых в ходе его эксплуатации, снабжение судов всеми видами имущества. Важной особенностью системы технического обеспечения как сложной технической и организационно-экономической системы является её непрерывное целенаправленное развитие (изменение). Согласно энциклопедическому определению, техническое обеспечение судов – это комплекс работ, выполняемых экипажем и судоремонтными фирмами, обеспечивающими использование его по назначению в соответствии с нормативными технико-экономическими показателями. Эти показатели определяют техническое использование судов [4], к которому относятся: управление судовыми техническими средствами (СТС), работы по выбору режимов и контроля функционирования СТС, содержание в надлежащем виде и порядке, рациональное использование топлив, масел и других расходных материалов.

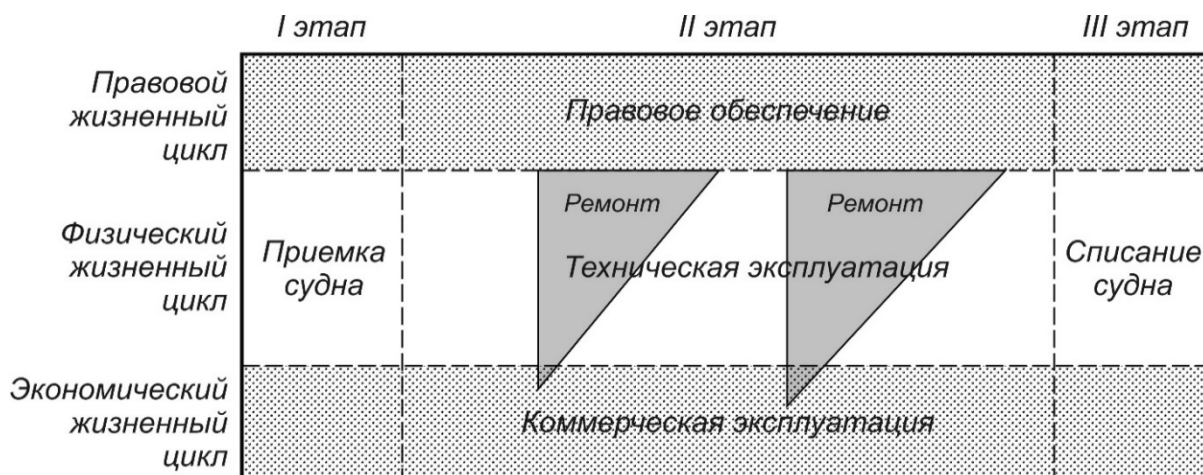


Рисунок 1 – Фазы жизненного цикла судна на стадии эксплуатации

В наши дни понятие «эксплуатация СЭУ» претерпело существенные уточнения. Изучением процесса эксплуатации сложных технических систем, в том числе и СЭУ, стала заниматься теория эксплуатации, возникшая на основе теории надежности, теории массового обслуживания, теории восстановлений и методологии системного анализа и получила развитие как новое научное направление в технической кибернетике [2].

Так как система управления эксплуатацией СЭУ имеет в своем составе не только различные устройства (узлы и детали, системы и устройства, ЭВМ, вспомогательную технику и т.д.), но и людей-операторов, принимающих непосредственное участие в её работе, она может быть классифицирована как эргатическая системами управления (ЭСУ). Классификационные признаки ЭСУ СЭУ приведены на рис. 2.



Рисунок 2 – Классификационные признаки эргатической системы управления эксплуатацией СЭУ при стоянке судна в порту/на рейде

Из постулатов инженерной психологии известно, что оператор выполняет деятельность со сложными свойствами и вероятностными характеристиками. Поэтому, механический перенос подходов к оценкам процессов в технике для оценки деятельности оператора неприемлем, и при разработке задач повышения эффективности должно также учитываться использование материально-энергетических и психофизиологических резервов оператора [5]. Таким оператором ЭСУ эксплуатацией СЭУ при стоянке судна в порту/на рейде, наряду с другими специалистами – членами экипажа и работниками береговых структур, является морской агент. Способы принятия решений операторами-агентами должны быть максимально учтены и формализованы, а критерии эффективности ЭСУ СЭУ должны отражать не только технико-экономическую сторону, но и человеческий критерий эффективности деятельности операторов.

Все это составляет существующую проблему и определяет актуальность ее решения.

**Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Традиционно сложилось, что авторы разрабатывают задачи повышения эффективности системы технической эксплуатации судов, совершенствования управления ею в двух направлениях: технологическом и общесистемном.

Технологическое направление представлено в работах: Брехова А. М., Ефимова В. Г., Емиранова С. П., Клаус А. Ф., Кудайбергенова П. К., Лучка М. Х., Тимко Н. А., Лаврицкого А. А., Ланчуковского В. И., Серебрякова В. Н., Лазарева А. Н., Опарина А. В., Разумова И. М. и других. Оно связано с разработкой и внедрением новых технологических процессов, ресурсосберегающих технологий, новых технических средств диагностирования, групповых технологий восстановления узлов, совершенствованием методов и способов ремонта и т.д., отличающихся капитальными вложениями (включая затраты на научные исследования) и ориентировано прежде всего на крупные судоходные компании [6].

Общесистемное направление отражено в работах Богданова А. А., Поспелова Г. С., Бусленко Н. П., Болтянского В. Г., Северцева Н. А., Дружинина В. В., Конторова Д. С., Клира Дж., Кухтенко А. И., Ларичева О. И., Месаровича М., Рябининой Н. А., Варжапетяна А. Г., Черкесова Г. Н., Саати Т., Керне К., Советова Б. Я., Яковлева С. А., Попова С. А., Смолкина А. М., Цвиркун А. Д., Шатихина Л.Г. и др. Оно не связано напрямую с существенными затратами и предполагает распространение теоретико-предсказательных подходов к организации планирования, развития и управления процессами эксплуатации и ремонта, совершенствованием АСУ) [6, 7].

До начала 60-х годов в науке был распространен техноцентрический подход с его направлением от техники к человеку. В 60–70-е гг. XX в. в трудах Ахутина В. М., Зараковского Г. М., Крылова А. А., Рубахина В. Ф., Смирнова Б. А., Суходольского Г. В. и других разработаны концепции взаимодействия оператора с системами управления и средствами отображения информации. Биллингс Ч., Йоханнсен Г., Левис А., Миллер Д., Морей Н., Соркин Р., Стассен Х., при решении проблем эксплуатации учитывали уже и когнитивные процессы в операторской деятельности. Тогда же Абрамова В. Н., Бендерс Дж., Бобнева М. И., Браун О., Журавлев Г. Е., Мешкати Н., Парсонс С. О., Салвенди Г., Строуп Л. Т., Тэро Дж. разрабатывали концепции социотехнической направленности, макроэргономики и культуры безопасности, в рамках которых рассматривали социальные, организационные, управленческие, экономические (макрофакторы) и личностные факторы функционирования социотехнических систем. Сегодня они учитываются во многих исследованиях. Бендерс Дж., Хаан Дж., Беннетт Д. обосновывают симбиотический подход интегративного характера, постулирующий сбалансированное рассмотрение технических, социальных, организационных аспектов. Можно ожидать, что по ряду позиций он должен стать главным направлением современного проектирования.

Однако в имеющейся нормативно-технической документации система принятия решений при технической эксплуатации судна (и в их составе СЭУ) и, соответственно, эффективность такой эксплуатации, ориентирована, главным образом, на прибыль, т.е. увеличение рентабельности  $P$ :

$$P = 1 - \frac{C}{R} \quad (1)$$

где  $C$  – доход, зависящий от стоимости эксплуатационных процедур и ремонтных работ (тарифов);  $R$  – себестоимость услуг технического обеспечения, зависящая от эксплуатационных характеристик СЭУ, их ресурсов, платёжеспособности судоходных компаний и т.п.

Но так как данный подход предполагает учет многих факторов, наличие большого количества конкурирующих критериев и систем приоритетов, необходимость сопряжения и согласования информационных потоков, целесообразность его применения остается ограниченной [6]. На этом основании большинство исследователей считает, повышение требований к качеству технической эксплуатации СЭУ делает необходимыми глубокие и многовариантные научно-технические проработки, всесторонний анализ альтернативных решений, повышение ответственности за эти решения. Проблема повышения эффективности технической эксплуатации СЭУ может быть решена лишь с учетом системного анализа проблем моделирования сложных человеко-машинных комплексов, с учетом специфики предметной области к необходимости максимальной формализации способов обоснования и принятия управленческих решений [5, 6, 8].

На основе анализа литературных источников может быть сделан вывод о том, что в современных условиях традиционные, т.е. естественно-научные методы, основанные на экспериментально-измерительном подходе к принятию решений, не соответствуют уровню предсказания процессов, что требует разработки качественно новых подходов к решению проблемных задач управления эксплуатацией СЭУ. Указанные обстоятельства определяют несомненную актуальность исследования.

**Формулирование целей статьи (постановка задачи).** На основании вышеизложенного можно сформулировать задачи, решаемые в данной статье.

Объект исследования – сервисная эргатическая система управления производственной деятельностью морского транспортного судна.

Предмет исследования – участие морского агента в обеспечении функционирования СЭУ во время стоянки судна в порту или на рейде.

Цель исследования – повышение эффективности функционирования ЭСУ эксплуатацией СЭУ благодаря совершенствованию деятельности морского агента в группе операторов.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

1. Уточнить современные подходы к понятию «эксплуатация СЭУ».
2. Сформулировать классификационные признаки ЭСУ эксплуатацией СЭУ.
3. Структурировать ЭСУ эксплуатацией СЭУ и выделить факторы, влияющие на её функционирование.
4. Очертить состав группы операторов ЭСУ эксплуатацией СЭУ при стоянке судна в порту и обосновать место судового агента в ней.
5. Выделить факторы, влияющие на объективную оценку агентом ситуации, связанной с эксплуатацией СЭУ.
6. Разработать характеристики, отображающие степень участия агента в повышении эффективности функционирования СЭУ эксплуатацией СЭУ при стоянке судна в порту.

**Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** Как известно из теории эксплуатации, система обеспечения технической эксплуатации представляет собой совокупность взаимосвязанных объектов техники, средств их эксплуатации, исполнителей и документации, взаимодействие которых происходит в соответствии с задачами каждого этапа эксплуатации.

Для сложных технических систем, каким является СЭУ, существует определенная специфика процесса эксплуатации. В соответствии с положениями теории эксплуатации можно полагать, что для эффективного функционирования ЭСУ эксплуатацией СЭУ (в нашем случае, когда судно стоит в порту) должны учитываться две группы факторов, влияющих на ее работу:

– внешние – такие, как условия в порту (плотность судопотока, погодные условия, время года и суток, наличие льда, обрастание корпуса и т.п., обычаи и постановления по порту, правила классификационных обществ, условия судовладельцев / фрахтователей / операторов, обслуживающих и контролирующих организаций,

инспекций и т. п.);

– внутренние – физические, психологические, психосоциальные, психофизиологические возможности операторов. Причем человеческий эргатический элемент является центральной компонентой. Это относится к любому оператору, участвующему в эксплуатации СЭУ – как члену экипажа, так и представителю человеческой периферийной компоненты, опосредованно привносящему влияние окружающей среды [5].

ЭСУ эксплуатацией СЭУ характеризуются наличием обратной связи. В процессе управления операторы осуществляют целенаправленное воздействие на объект управления (эксплуатацию СЭУ), а после получения информации о реакции объекта на те или иные действия, корректируют их. То же относится и к возмущающим воздействиям внешней среды.

Очевидно, что такому управлению должен подвергаться не только объект, но также все элементы ЭСУ эксплуатацией СЭУ. С учетом того, что эффект эксплуатации всей системы в значительной мере зависит от успешности функционирования подсистем, разработка таких подсистем требует особого внимания [2].

Интеллектуальные, волевые и эффекторные функции, выполняемые оператором, включают в себя: восприятие, упорядочение и выявление расхождений в поступающей информации о работе объекта; оценка его технического состояния, анализ вариантов возможных решений и выбор оптимального; принятие решения и его реализация.

Попытка представить структуру ЭСУ эксплуатацией СЭУ при стоянке судна в порту / на рейде приведена на рис. 3.

Итак, далее работу СЭУ при стоянке судна в порту будем рассматривать совместно с деятельностью оператора (малой группы операторов переменного состава в зависимости от конкретных эксплуатационных условий судна / СЭУ) [5, 9, 10], в которой в качестве обязательного субъекта труда обязательно должен найти своё место судовой агент.

Состав такой группы представлен на рис. 4. Здесь же показаны производственные связи агента в процессе управления эксплуатацией СЭУ при стоянке судна в порту/ на рейде.

Объектами профессиональной деятельности морских агентов в порту, которая охватывает такие её специфические виды, как сервисная, организационно-управленческая, элементы консалтинговой и научно-исследовательской, являются суда с их энергетическим оборудованием

Участие агента в решении вопросов, связанных с обеспечением эффективной эксплуатации СЭУ на стоянке судна в порту начинается еще до подхода судна в порт, когда, получив от капитана заявки на снабжение судомеханическим имуществом, агент начинает работу по их выполнению. После прибытия на рейд/ошвартовки агент способствует работе комиссии по оформлению прихода. В ряду решаемых при этом вопросов можно привести следующие: помощь врачу санэпидемстанции в установлении, есть ли на судне фланец международного образца для сдачи сточных, фекальных и хозяйственно-бытовых вод, и позволяет ли он откатывать эти воды на оба борта; в случае планируемого на стоянке ремонта СЭУ – составление письма в адрес капитана порта с просьбой разрешить вывод главного двигателя из эксплуатации; консультирование капитана в вопросах, связанных с заказом судомеханического снабжения, топлива, масел, воды, заправки газовых баллонов под давлением. Кроме того, во взаимоотношениях капитана и старшего механика с представителями контролирующих органов агент зачастую выступает в роли переводчика, что предопределяет знание им английской морской терминологии.

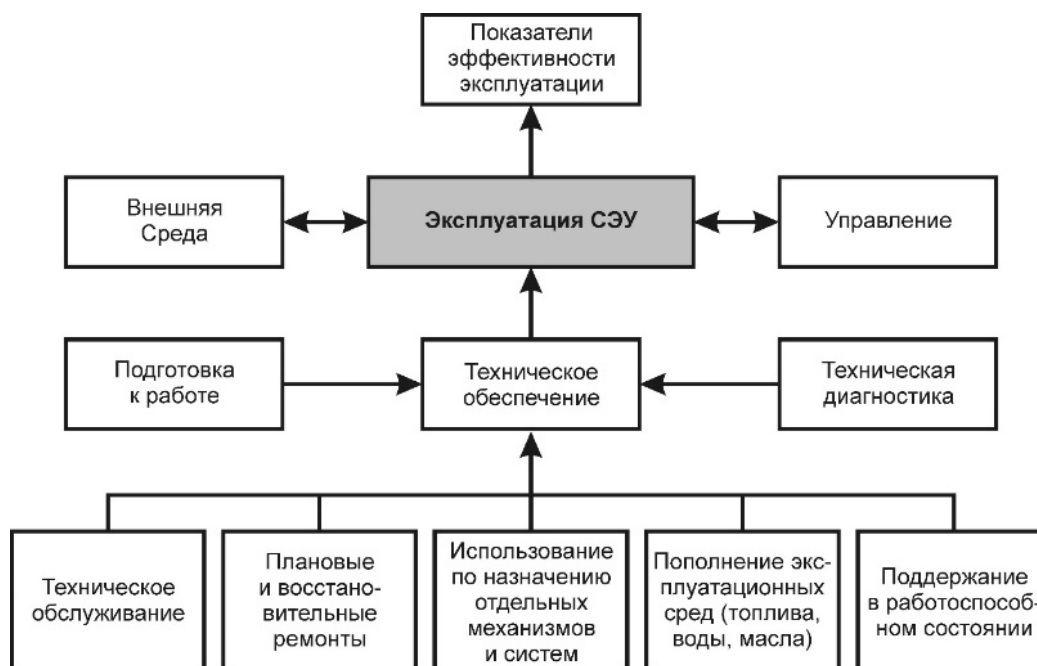


Рисунок 3 – Структура ЭСУ эксплуатацией СЭУ при стоянке судна в порту / на рейде

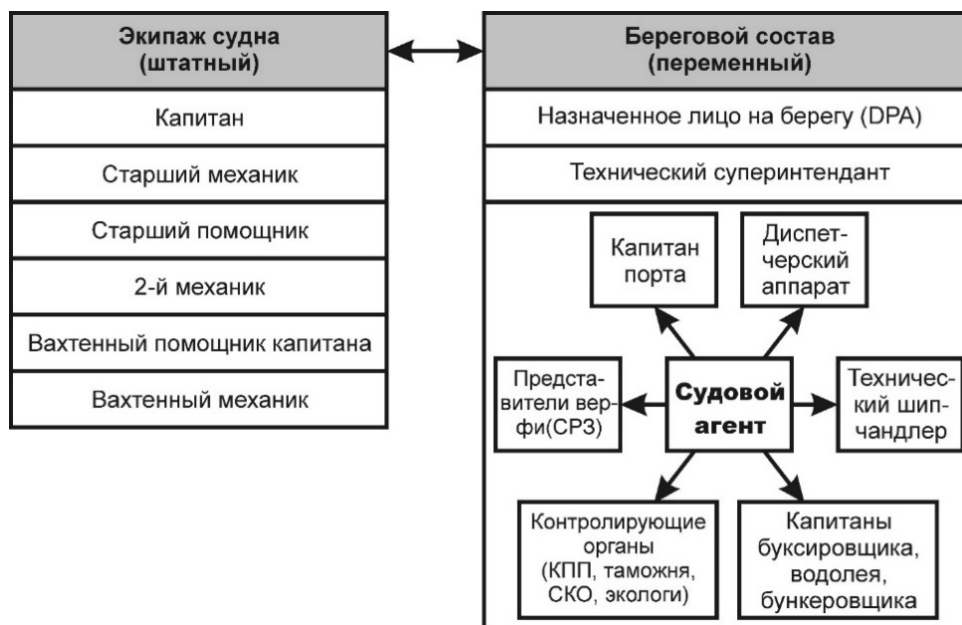


Рисунок 4 – Место судового агента в группе операторов ЭСУ эксплуатацией СЭУ при стоянке судна в порту / на рейде

В рамках профессиональной деятельности морскому агенту зачастую приходится участвовать в:

- обосновании предлагаемых методов и средств исследований профессиональной деятельности с использованием необходимых моделей, позволяющих прогнозировать свойства объектов профессиональной деятельности, принятия и реализации управленческих решений в рамках приемлемого риска;
- нахождении компромиссов между различными требованиями (стоимости, качества, безопасности и сроками исполнения) при долгосрочном и краткосрочном планировании эксплуатации судового оборудования, выбирать оптимальные решения;
- разработке нормативов эксплуатации, технического обслуживания, ремонта и хранения судового оборудования и транспортных средств, проектов технических условий и требований, стандартов и технических описаний, нормативной документации для новых объектов деятельности;

- обеспечении экологической безопасности эксплуатации судового оборудования, безопасных условий труда персонала;
- организации и совершенствовании системы учета и документооборота, экспертиз и аудита при проведении сертификации деталей, узлов, агрегатов и систем для судового оборудования, прикладных исследований, услуг и работ по техническому обслуживанию и ремонту судов;
- подготовке и разработке сертификационных и лицензионных документов;
- использовании информационных технологий при вводе в эксплуатацию новых видов судового оборудования, а также в информационном поиске и анализе информации по объектам исследований.

Как все эргатические системы, ЭСУ эксплуатацией СЭУ имеет две комплексные характеристики – эффективность и качество. Оценка эффективности имеет первоочередное значение для многих аспектов, поскольку с ее помощью определяется правильность, обоснованность, действенность эксплуатации объекта. Под эффективностью эргатической системы понимается комплексная характеристика, состоящая в приспособленности системы к достижению цели [11].

До настоящего времени четкого определения понятия «эффективность» нет. По определению Грибова В. Д.: «..эффективность деятельности управляющей системы должна быть выражена в конечном счете через показатели эффективности управляемой системы, хотя она может иметь и свои собственные частные характеристики» [12].

Важнейшим условием для повышения качества и эффективности эксплуатации технических объектов является обеспечение высокой надежности эргатической системы и операторов в их составе. Статистка свидетельствует о том, что 10–15% всех отказов непосредственно связаны с ошибками человека (всего же, прямо или косвенно, с ошибками человека связано 20–30 % аварий и катастроф) [5].

В процессе своей деятельности морской агент находится под воздействием целого ряда факторов, как положительно, так и отрицательно влияющих на объективную оценку им ситуации, связанной с эксплуатацией СЭУ при стоянке судна в порту. Эти факторы выделены на рис. 5.



Рисунок 5 – Факторы, влияющие на объективную оценку агентом ситуации, связанной с эксплуатацией СЭУ, при стоянке судна в порту

Эффективность деятельности оператора характеризуется быстродействием и надежностью. Они могут быть оценены при помощи количественных и качественных

характеристик. Рассмотрим частные (т.е. относящиеся к деятельности одного оператора – агента) количественные характеристики.

В качестве критерия быстродействия может быть предложено время решения задачи, т.е. время от момента реагирования оператора на сигнал до момента окончания управляющих воздействий:

$$T_{on} = a + bH = a + H/V_{on}, \quad (2)$$

где  $a$  – скрытое время реакции, т.е. промежуток времени от момента появления сигнала до реакции на него оператора, принимается (0,2 ÷ 0,5 с);  $b$  – время переработки одной единицы информации, принимается (0,15 ÷ 0,35 мин);  $H$  – количество единиц перерабатываемой информации;  $V_{on}$  – пропускная способность, характеризующая время, в течении которого оператор постигает смысл информации, принимается (2 – 4 ед/с).

Надежность работы оператора – агента определяется как способность успешного выполнения им работы или поставленной задачи на заданном этапе функционирования системы в течение заданного интервала времени при определенных требованиях к продолжительности выполнения работы [11].

Надежность оператора характеризуется его безошибочностью, восстанавливаемостью, готовностью, своевременностью и точностью. Для каждого из этих показателей могут быть разработаны соответствующие выражения.

Безошибочность можно оценить вероятностью безошибочного выполнения работы:

$$P_{\text{бо}} = \frac{m}{N}, \quad (3)$$

где  $m$  – число правильно решенных задач (действий);  $N$  – общее число решаемых задач (действий).

Если агент выполняет привычные, рутинные действия, то показателем безошибочности может служить интенсивность ошибок. В случае его устойчивой работоспособности интенсивность ошибок может быть определена по формуле:

$$\lambda_o = \frac{(N - m)}{N \cdot T_{cp}}, \quad (4)$$

где  $T_{cp}$  – среднее время выполнения конкретного действия.

Восстанавливаемость представляет собой инструмент контроля и самоконтроля агентом своих действий и исправления допущенных ошибок. Восстанавливаемость может быть оценена вероятностью исправления ошибки:

$$P_{uo} = P_{\kappa} \cdot P_{\text{обн}} \cdot P_u(t), \quad (5)$$

где  $P_{\kappa}$  – вероятность выдачи контрольного сигнала системой;  $P_{\text{обн}}$  – вероятность обнаружения агентом этого сигнала;  $P_u(t)$  – вероятность исправления ошибки при повторном решении задачи в течение времени  $t$ .

Показатели своевременности действий используют потому, что правильные, но несвоевременные действия не приводят к достижению цели, т. е. дают тот же результат, что и ошибка.

Устойчивая работа ЭСУ эксплуатацией СЭУ зависит от готовности оператора включиться в работу в любой произвольный момент времени. Такая готовность может быть оценена при помощи коэффициента готовности, который, по сути, представляет собой вероятность этого события:

$$K_{on} = 1 - \frac{T_o}{T}, \quad (6)$$

где  $T_o$  – время, в течение которого оператор не может принимать поступающую к нему информацию (перегружен, занят и др.);  $T$  – общее время работы.

Очевидно, что формула (6) не позволяет учесть влияние вработываемости или утомления оператора и может быть использована только для периода устойчивой его работоспособности.

Для достижения цели ЭСУ эксплуатацией СЭУ исключительно важен такой показатель, как своевременность. Она может быть оценена вероятностью своевременного выполнения работы:

$$P_{св} = P\{t_{on} < T_l\}, \quad (7)$$

где  $t_{on}$  – время решения задачи;  $T_l$  – лимит времени, превышение которого рассматривается как ошибка.

Если решаемые агентом задачи стандартные и есть возможность собрать статистические данные, то вероятность своевременного выполнения им работы можно определить по формуле

$$P_{св} = \frac{N - m_{нс}}{N}, \quad (8)$$

где  $m_{нс}$  – число несвоевременно решенных задач.

После вычисления частных количественных показателей определяется вероятность выполнения задачи всей системой  $P_{ЭСУ}$ .

$$P_{ЭСУ} = P_q \cdot P_m, \quad (9)$$

где  $P_q$  – вероятность выполнения задачи (надежность) человеком-оператором;  $P_m$  – вероятность выполнения задачи (надежность) техническими устройствами.

Как показано на рис. 4, при эксплуатации СЭУ на стоянке агент при выполнении ряда функций, работает в группе операторов. Эти группы – формальные. При этом контур ЭСУ эксплуатацией СЭУ непрерывно изменяется как во времени, так и в пространстве. Одни из элементов используются постоянно, другие включаются в контур периодически в фиксированные или в случайные моменты времени. Некоторые из параметров присущи только группе и не имеют аналогов для одного оператора. Они во многом зависят от слаженности действий операторов, их психологической совместимости, структуры связей, распределения функций и др. В группах, кроме функциональных (деловых), возникают и эмоциональные (неофициальные) контакты.

Эффективность функционирования ЭСУ зависит и от структуры связей операторов. Как правило, при эксплуатации СЭУ, операторы в группе связаны между собой последовательно, т.е. каждый оператор выполняет свои определенные функции. Например, при такой связи информация, поступающая в систему, обрабатывается также последовательно, и пропускная способность всей ЭСУ определяется пропускной способностью наиболее слабого оператора.

Так как контур ЭСУ эксплуатации СЭУ плавающий, то агент в зависимости от специфики решаемых задач может образовывать с другими операторами СЭУ иерархические структуры с полной децентрализацией, и реже – с полной и слабой централизацией. В этой связи при оценке структурных связей агента с другими операторами интерес представляет положение агента по отношению к центру группы всех операторов, которое можно оценить с помощью показателя центральности:

$$C_i = \frac{\sum_j l_{ij}}{\sum_j l_{ij}}, \quad (10)$$

где  $l_{ij}$  – расстояние между операторами в соответствующей структуре;  $i$  и  $j$  – наименьшее число звеньев, по которым можно перейти от  $i$ -оператора к  $j$ -му.

При стоянке в порту однотипных судов количество операторов ЭСУ эксплуатацией СЭУ может быть одинаковым для каждого судна. Тогда эффективность деятельности группы операторов более удобно оценивать показателями относительной периферийности каждого оператора:

$$P_i = C_{\max} - C_i, \quad (11)$$

а также полной периферийности всей структуры:

$$P = \sum P_i, \quad (12)$$

Если число операторов неодинаковое, оценка эффективности ЭСУ существенно усложняется и тогда остается прибегнуть к экспертным оценкам.

При оценке эффективности ЭСУ эксплуатацией СЭУ, помимо количественных, должны быть учтены и качественные характеристики, определяемые эргономическими факторами. В их ряду могут быть выделены такие, как: соответствие технических параметров СЭУ и характера решаемых задач возможностям человека и его потребностям; обученность агента, соответствие его профессионального уровня сложности и требованиям хорошей практики морского агентирования, согласующейся с накопленным опытом, здравым смыслом и состоянием науки; индивидуальные особенностями организма (здоровье, состояние нервной системы и т.п.), их согласованностью с требованиями в профессии агента. Как видим, приведенные факторы характеризуются недостаточной определенностью, размытостью, что влечет за собой многие методологические трудности и исключают их четкую формализацию. Из-за этого создать адекватную математическую модель чрезвычайно сложно, поэтому на данном этапе развития науки можно рекомендовать использование экспертных оценок.

На практике эффективность функционирования ЭСУ может быть достигнута двумя путями – оптимальным использованием технических средств и максимальным использованием возможностей человека, причем поиски эффективности должны проводиться параллельно.

Учитывая, что полная надежность СЭУ неосуществима, при разработке задач повышения эффективности управления эксплуатацией большая роль должна отводиться автоматизации СЭУ. Недостаточная надежность СЭУ на практике может быть компенсирована использованием материально-энергетических и психофизиологических резервов в стремлении к улучшению (но не упрощению) и облегчению условий их работы и снижению физического износа организма.

Таким образом, морской агент является тем звеном, от которого во многом зависят надежность и эффективность ЭСУ эксплуатацией СЭУ стоящего в порту судна.

**Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению.** Вопросы совершенствования методологии исследований по данной проблематике, диагностики обслуживающего персонала – операторов СЭУ, формирования из них команды, использования современного инструментария оценки компетентности, надежности морских агентов и других операторов, как эргатического элемента ЭСУ управления эксплуатацией СЭУ, требуют дальнейшего рассмотрения и проработки.

1. Несмотря на предпринимаемые усилия, достичь абсолютной технической надежности СЭУ на практике не осуществимо.

2. Проблема повышения эффективности функционирования ЭСУ эксплуатацией СЭУ, требует развития и совершенствования таких качеств морского агента, как быстроедействие, надежность, безошибочность, восстанавливаемость, своевременность. Требования к развитию этих качеств и мобилизации материально-энергетических и психофизиологических резервов будут в дальнейшем расти и постоянно повышаться.

3. Предложенные выражения для оценки количественных характеристик, учитывающих роль морского агента в повышении эффективности функционирования ЭСУ эксплуатацией СЭУ, могут стать удобным инструментарием, позволяющим избежать методологических трудностей при определении наиболее значимых для сервисных предприятий морского транспорта эргономических проектов.

4. Качественные характеристики повышения эффективности ЭСУ эксплуатацией СЭУ характеризуются размытостью формулировок, что объясняется слабой структурированностью проблем и зачастую многовариантностью подходов к их решению на практике. Пока же могут быть рекомендованы поиски путей построения сколь-нибудь адекватной математической модели.

5. Принятая до сих пор система оценивания эффективности эргономического обеспечения эксплуатации судов, основанная на определении затрат, срока окупаемости, себестоимости, не должна автоматически переноситься на социальные аспекты, в частности, связанные с сервисным обслуживанием судов.

6. Приведенный подход к уточнению роли морского агента в повышении эффективности функционирования ЭСУ эксплуатацией СЭУ при стоянке судна в порту повысит мотивацию агентов на качественное выполнение своих обязанностей.

7. При использовании предложенного подхода совершенствование деятельности агентской компании будет достижимо легче и эффективнее

8. Описанный подход является универсальным и подходит для компаний, занимающихся агентированием морских судов различных типов. Он должен периодически пересматриваться с учетом приобретаемого опыта.

9. Изложенные в статье положения могут быть рекомендованы к внедрению в учебный процесс студентов и курсантов морских учебных заведений.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долятовский В. А. Исследование систем управления : учеб.-практ. пособие / В. А. Долятовский, В. Н. Долятовская. – М. , Ростов-н/Дону : Изд.центр «МарТ», 2003. – 256 с.
2. Рыбалко В. В. Эксплуатация и диагностика турбинных установок: Учебное пособие / В. В. Рыбалко. – СПб : Изд-во СПбГМТУ, 2008. – 207 с.
3. Францев И. Р. Моделирование процессов технического обеспечения судов / И. Р. Францев, А. А. Шнуренко. – СПб. : Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отделение, 1999. – 104 с.
4. Большая энциклопедия транспорта. Энциклопедия водного транспорта. – СПб. : РАТ, 1995. – 542 с.
5. Ланчуковский В. И. Безопасное управление судовыми энергетическими установками : учебник / В. И. Ланчуковский. – Одесса : Астропринт, 2004. – 232 с.
6. Францев И. Р. Методологические основы процессов управления техническим обеспечением судов на основе новых информационно-технологий / дисс. на соиск. уч. степ. д.т.н. / И. Р. Францев – СПб : ОАО «Научно-производственная фирма «Меридиан», 2003. – 235 с.
7. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Керне. – М. : Радио и связь, 1991. – 220 с.
8. Уемов А. И. Системный анализ и общая теория систем / А. И. Уемов. – М. : Мир, 1978. – 180 с.

9. Голиков В. В. Сценарное исследование деятельности операторов морской транспортной системы на принципах гарантированной безопасности в чрезвычайных ситуациях // Судовые энергетические установки : научно-технический сборник / В. В. Голиков, К. Л. Обертюр, И. В. Сафин – Одесса : ОНМА, 2012. – С. 194-203.
10. Голиков В. А. Человеческий фактор в судовых эргатических системах // Морское обозрение Sea Review : Международный морской журнал. – Одесса : Экология, 2003. – С. 18.
11. Широков А. П. Основы эргономики: учеб. пособие [Текст] / А. П. Широков – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. – 117 с. : ил.
12. Грибов В.Д. Менеджмент: учебное пособие / В.Д. Грибов. – М.: Кнорус, 2007. – С. 212.

## REFERENCES

1. Dolyatovskiy V. A. Issledovanie sistem upravleniya : ucheb.-prakt. posobie / V. A. Dolyatovskiy, V. N. Dolyatovskaya. – M. , Rostov-n/Donu : Izd.cent. «MarT», 2003. – 256 s.
2. Rihbalko V. V. Ekhsplyuatsiya i diagnostika turbinnikh ustanovok: Uchebnoe posobie / V. V. Rihbalko. – SPb : Izd-vo SPbGMTU, 2008. – 207 s.
3. Francev I. R. Modelirovanie processov tekhnicheskogo obespecheniya sudov / I. R. Francev, A. A. Shnurenko. – SPb. : Ehnergoatomizdat, Sankt-Peterburgskoe otделение, 1999. – 104 s.
4. Boljshaya ehnciklopediya transporta. Ehnciklopediya vodnogo transporta. – SPb. : PAT, 1995. – 542 s.
5. Lanchukovskiy V. I. Bezopasnoe upravlenie sudovihmi ehnergeticheskimi ustanovkami : ucheb. / V. I. Lanchukovskiy. – Odessa : Astroprint, 2004. – 232 s.
6. Francev I. R. Metodologicheskie osnovih processov upravleniya tekhnicheskim obespecheniem sudov na osnove novihkh informacioonihkh tekhnologiy / diss. na soisk. uch. step. d.t.n. / I. R. Francev – SPb : OAO «Nauchno-proizvodstvennaya firma «Meridian», 2003. – 235 s.
7. Saati T. Analiticheskoe planirovanie. Organizatsiya sistem / T. Saati, K. Kerne. – M. : Radio i svyazj, 1991. – 220 s.
8. Uemov A. I. Sistemniy analiz i obthaya teoriya sistem / A. I. Uemov. – M. : Mir, 1978. – 180 s.
9. Golikov V. V. Scenarnoe issledovanie deyatel'nosti operatorov morskoy transportnoy sistemih na principakh garantirovannoy bezopasnosti v chrezvichaynihkh situatsiyakh // Sudovih ehnergeticheskie ustanovki : nauchno-tekhnicheskij sbornik / V. V. Golikov, K. L. Obertyur, I. V. Safin – Odessa : ONMA, 2012. – S. 194-203.
10. Golikov V. A. Chelovecheskiy faktor v sudovihkh ehrgaticheskikh sistemakh // Morskoe obozrenie Sea Review : Mezhdunarodniy morskoy zhurnal. – Odessa : Ehkologiya, 2003. – S. 18.
11. Shirokov A. P. Osnovih ehrgonomiki: ucheb. posobie [Tekst] / A. P. Shirokov – Khabarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2006. – 117 s. : il.
12. Gribov V.D. Menedzhment: uchebnoe posobie / V.D. Gribov. – M.: Knorus, 2007. – S. 212.

**Петров І.М. РОЛЬ МОРСЬКОГО АГЕНТА В ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ СЕУ**

*У статті розглянуті проблеми підвищення ефективності функціонування ергатичних систем керування (ЕСК) експлуатацією СЕУ під час стоянки судна в порту. Уточнені сучасні підходи до поняття експлуатації СЕУ, на підставі чого сформульовані класифікаційні ознаки й виділені фактори, що впливають на її функціонування, в тому числі суб'єктивні. Обґрунтована можливість досягнення мети завдяки вдосконалюванню діяльності морського агента у групі операторів. Запропоновані характеристики, що відображають ступінь участі агента в підвищенні ефективності функціонування ЕСК експлуатацією СЕУ при стоянці судна в порту.*

*Ключові слова: морський агент, ефективність, суднова енергетична установка – СЕУ, ергатична система керування – ЕСК, життєвий цикл, технічна експлуатація, технічне забезпечення, надійність, швидкодія, безпомилковість, відновлювання.*

**Petrov I.M. THE ROLE OF THE SEA AGENT IN INCREASE OF EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF ERGATIC CONTROL SYSTEMS OF OPERATION OF SPP**

*In article problems of increase of efficiency of functioning of the ergatic control systems (ECS) of operation of ships' power plants (SPP) while the ship is lying alongside or at anchor are considered. Modern approaches to concept of operation of SPP on the basis of what classification signs are formulated and the factors influencing its functioning including subjective are allocated. Possibility of achievement of the goal thanks to improvement of activity of the sea agent in group of operators is proved. The characteristics displaying extent of participation of the agent in increase of efficiency of functioning of ECS of operation of SPP while the ship is lying alongside or at anchor are offered.*

**Keywords:** sea agent, efficiency, ship's power plant – SPP, ergatic control system – ECS, life cycle, technical operation, technical providing, reliability, high-speed performance, faultlessness, restorability.

© Петров І.М.

Статтю прийнято  
до редакції 4.06.15

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕНТРА МАССЫ ШТАБЕЛЯ НАВАЛОЧНОГО ГРУЗА ПРИ НАЛИЧИИ ДИФФЕРЕНТА СУДНА

Хомяков В.Ю., Савчук В.Д.

Одесская национальная морская академия

*В практике одновременной перевозки нескольких видов навалочных или насыпных грузов на судне типа «коастер» между портами Северной Европы и Норвегии в бассейне Северного, Норвежского и Балтийского морей размещение таких грузов в трюме отдельными штабелями осуществляется с использованием метода «естественной» сепарации. В связи с такой загрузкой, грузовой помощник капитана, при расчетах мореходных качеств судна, считает, что каждая насыпь является отдельным грузом и имеет свою массу, свои координаты центра массы, создает свой момент относительно миделя и т.д. На т/х «Wilson Bilbao» были выполнены рейсовые наблюдения одновременной перевозки нескольких видов навалочных грузов. Установлено, что, если судно не имеет дифферента и погрузка производится «на ровном киле», то груз размещается, чаще всего, следующим образом: в носовой и кормовой части трюма судна штабель имеет форму прямоугольного треугольника или прямоугольной трапеции, а в центральной части трюма, в зависимости от его объема, имеет форму равнобедренной трапеции или равнобедренного треугольника. Если же судно имеет начальный дифферент, то при погрузке навалочного и, особенно насыпного груза, происходит его смещение и пересыпание. Углы при основании этих штабелей груза изменяются на угол дифферента: один из углов увеличивается, другой – уменьшается. Происходит перемещение центра массы штабеля сместившегося груза, что нельзя не учитывать при расчете остойчивости судна после окончания погрузки. В статье рассмотрена математическая модель, которая позволяет рассчитать координаты центра массы сместившегося груза в зависимости от линейных размеров трюма, угла естественного откоса груза и начального дифферента судна.*

**Ключевые слова:** судно типа «коастер», расчет координат центра массы штабеля навалочного груза.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами.** В практике эксплуатации судов типа «коастер» очень часто возникает ситуация, когда необходимо одновременно перевозить несколько видов навалочных или насыпных грузов. Во избежание их смешивания применяется метод «естественной» сепарации. Грузовому помощнику капитана при составлении грузового плана судна необходимо выполнить расчеты количества и размеров каждого штабеля, а также определить координаты его центра тяжести для дальнейших расчетов остойчивости судна после погрузки.

**Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Расчет высоты штабеля навалочного груза при загрузке судов типа «коастер» и возможное смещение его центра тяжести массы рассмотрены в работах [1, 2]. Использование метода «естественной» сепарации и диаграмма графического расчета массы навалочных грузов при их перевозке на судах типа «коастер» изложены в публикациях [3, 4]. Математическая модель определения конфигурации поверхности насыпного груза в трюме судна методом Нелдера-Мида представлена в [5]. Система автоматизированного контроля грузовых операций крупнотоннажного балкера описана в статье [6].

**Целью статьи** является описание математической модели расчета координат центра массы навалочного груза при загрузке трюма «коастера» отдельными штабелями и наличии дифферента судна.

**Изложение материала исследования.** Рейсовые наблюдения на т/х «Wilson Bilbao» позволили установить, что при отсутствии дифферента судна, продольное сечение штабеля груза, который расположен в центральной части трюма, в зависимости от его объема, имеет форму равнобедренного треугольника (рис. 1, III) или равнобедренной трапеции (рис. 1, II). Углы при их основании равны углам естественного откоса данного

груза. Штабели груза, расположенные в носовой и кормовой части трюма, могут иметь форму прямоугольного треугольника либо прямоугольной трапеции (рис. 1, I, IV).

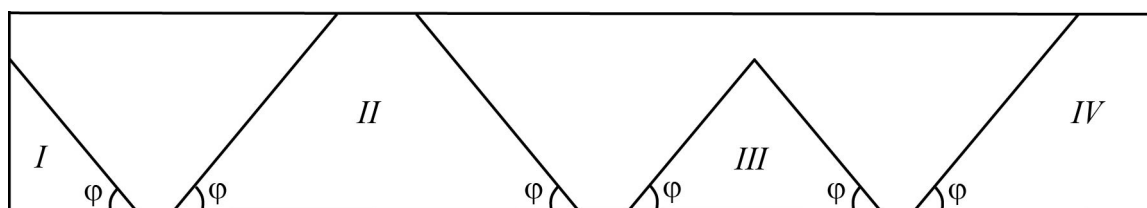


Рисунок 1 – Расположение штабелей груза при отсутствии дифферента судна

При наличии дифферента судна углы при основании этих штабелей груза изменяются на угол дифферента: один из углов увеличивается, другой – уменьшается (рис. 2).

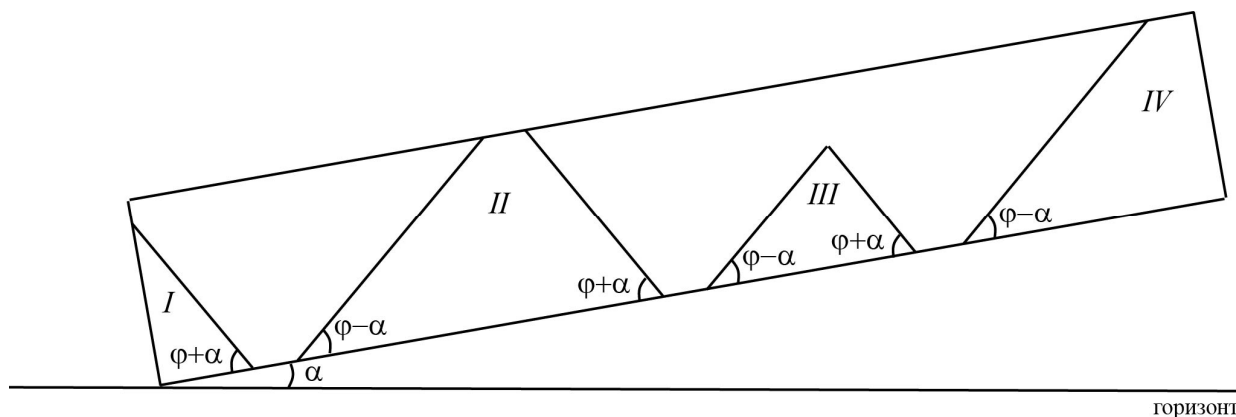


Рисунок 2 – Расположение штабелей груза при наличии дифферента судна

Рассмотрим сначала штабель вида рис. 2, III. Изображение такого штабеля, используемое для дальнейших расчетов, приведено на рис. 3.

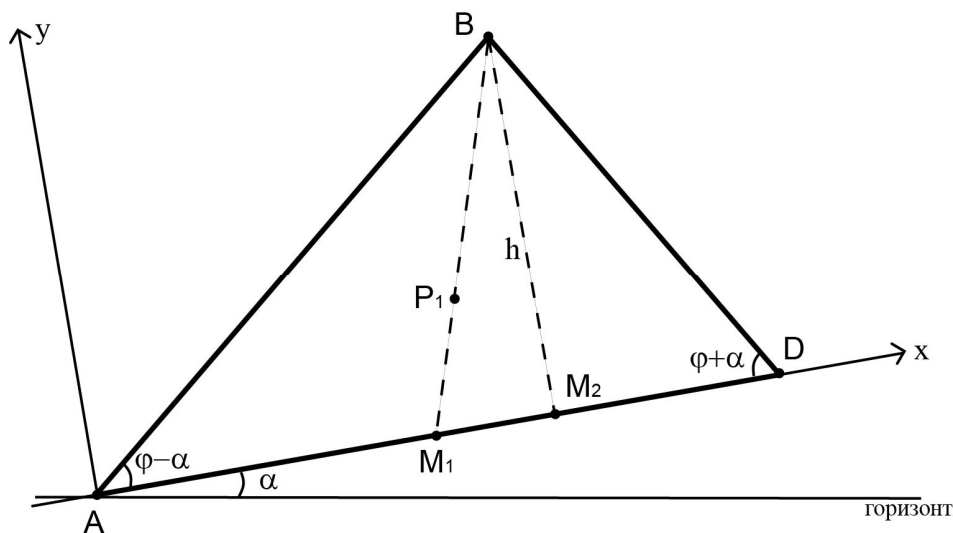


Рисунок 3 – Штабель навалочного груза в трюме при наличии дифферента судна

Здесь груз в продольном сечении имеет форму треугольника  $ABD$ , высота которого  $BM_2 = h$ . Тогда

$$AM_2 = h \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha), \quad M_2D = h \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha), \quad AD = h(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha))$$

$$S_{ABD} = \frac{1}{2} h^2 (\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)) = \frac{h^2 \sin 2\varphi}{2 \sin(\varphi - \alpha) \sin(\varphi + \alpha)}.$$

Координаты центра масс  $P_1$  в системе координат, начало которой находится в вершине  $A$ :

$$A(0;0), \quad B(h \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha); h), \quad D(h(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)); 0),$$

$$P_1\left(\frac{h(2 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha))}{3}; \frac{h}{3}\right). \quad (1)$$

Если задана масса навалочного груза  $m$ , его насыпная плотность  $\rho$  и ширина трюма  $d$ , то площадь продольного сечения штабеля такого груза  $S = \frac{m}{\rho d}$ . Отсюда определяем необходимую высоту треугольного штабеля:

$$h = \sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}} \quad (2)$$

и его основание

$$h = \sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}}; \quad (2)$$

$$L = AD = \sqrt{2S(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha))}. \quad (3)$$

Если рассчитанная таким образом высота не превышает высоту трюма  $H$ ,

$$\sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}} \leq H, \quad (4)$$

то штабель груза может иметь треугольную форму.

Штабель груза треугольной формы вида (рис. 2,  $I$ ) может быть рассчитан аналогичным образом, но вместо  $\triangle ABD$  необходимо рассмотреть  $\triangle BM_2D$  или  $\triangle ABM_2$ .

Получим соответственно:

для  $\triangle BM_2D$ :

$$h = \sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}}, \quad (5)$$

$$L = \sqrt{2S \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}. \quad (6)$$

Для  $\triangle ABM_2$ :

$$h = \sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}}, \quad (7)$$

$$L = \sqrt{2S \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}. \quad (8)$$

Условие возможности использования треугольной формы для  $\triangle BM_2D$  и  $\triangle ABM_2$  соответственно:

$$\sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}} \leq H, \quad (9)$$

$$\sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}} \leq H. \quad (10)$$

Координаты центра масс  $P_1$  в системе координат, начало которой находится в левой вершине основания:

для  $\triangle BM_2D$ :

$$P_1\left(\frac{h \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}{3}, \frac{h}{3}\right); \quad (11)$$

для  $\triangle ABM_2$

$$P_1\left(\frac{2h \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}{3}, \frac{h}{3}\right). \quad (12)$$

Пусть теперь погрузка выполнена таким образом (рис. 2, II), что груз в продольном сечении имеет форму трапеции  $ABCD$ , верхнее основание которой равно  $l$ , а высота  $h$  (рис. 4.). Пусть  $M_2$ ,  $M_3$  – проекции вершин верхнего основания на нижнее,  $M_1$  – середина отрезка  $AM_2$ ,  $M_2$  – середина отрезка  $M_3D$ . Тогда:

$$P_1\left(\frac{2h \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}{3}, \frac{h}{3}\right). \quad (12)$$

$$\begin{aligned} AM_2 &= h \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha), \quad M_3D = h \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha), \quad M_2M_3 = l, \\ AD &= l + h(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)) \end{aligned}$$

$$S_{ABCD} = \frac{1}{2}(2l + h(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)))h = lh + \frac{1}{2}h^2(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)).$$

Если задана площадь продольного сечения такого штабеля груза  $S = \frac{m}{\rho d}$ , а высота  $h$  равна высоте трюма  $H$ , то мы можем определить длину верхнего основания трапеции:

$$l = \frac{S}{H} - \frac{1}{2}H(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)). \quad (13)$$

Соответственно, длина нижнего основания:

$$L = AD = \frac{S}{H} + \frac{1}{2}H(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)). \quad (14)$$



Рисунок 4 – Штабель навалочного груза в трюме при наличии дифферента судна

Определим координаты центра масс штабеля груза  $P$  в системе координат, начало которой находится в вершине  $A$ . Для этого последовательно определим координаты центров масс  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  треугольника  $ABM_2$ , прямоугольника  $M_2BCM_3$ , треугольника  $M_3CD$  и площади этих фигур.

$$A(0;0), \quad M_2(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha); 0), \quad B(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha); H),$$

Для первого треугольника:

$$P_1\left(\frac{2H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}{3}; \frac{H}{3}\right), \quad S_1 = \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)$$

Для прямоугольника:  $P_2\left(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \frac{l}{2}; \frac{H}{2}\right), \quad S_2 = lH.$

Для второго треугольника:  $M_3(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + l; 0)$ ,  $C(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + l; H)$ ,

$$D(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + l + H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha); 0),$$

$$P_3 \left( \frac{2(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + l) + (H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + l + H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha))}{3}, \frac{H}{3} \right),$$

$$P_3 \left( \frac{3H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + 3l + H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}{3}; \frac{H}{3} \right), \quad S_3 = \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)$$

Следовательно, координаты точки  $P$ :

$$\begin{aligned}
x_0 &= \frac{x_1 S_1 + x_2 S_2 + x_3 S_3}{S_1 + S_2 + S_3} = \frac{1}{S_{ABCD}} \left[ \frac{2H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}{3} \cdot \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \right. \\
&+ \left( H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \frac{l}{2} \right) \cdot lH + \frac{3H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + 3l + H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}{3} \cdot \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) \Big] = \\
&= \frac{1}{S_{ABCD}} \left[ \frac{1}{3} H^3 \operatorname{ctg}^2(\varphi - \alpha) + lH^2 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \frac{l^2 H}{2} + \right. \\
&+ \frac{1}{2} H^3 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) + \frac{1}{2} lH^2 \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) + \frac{1}{6} H^3 \operatorname{ctg}^2(\varphi + \alpha) \Big] = \\
&= \frac{H}{6S_{ABCD}} [2H^2 \operatorname{ctg}^2(\varphi - \alpha) + 6Hl \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + 3l^2 + \\
&+ 3H^2 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) + 3lH \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) + H^2 \operatorname{ctg}^2(\varphi + \alpha)] \\
y_0 &= \frac{y_1 S_1 + y_2 S_2 + y_3 S_3}{S_1 + S_2 + S_3} = \\
&= \frac{1}{S_{ABCD}} \left[ \frac{H}{3} \cdot \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \frac{H}{2} \cdot lH + \frac{H}{3} \cdot \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) \right] =
\end{aligned}$$

$$= \frac{H^2}{6S_{ABCD}} [H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + 3l + H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)],$$

$$P \left( \frac{H}{6S} [2H^2 c_1^2 + 6Hl c_1 + 3l^2 + 3H^2 c_1 c_2 + 3lH c_2 + H^2 c_2^2]; \frac{H^2}{6S_{ABCD}} [H c_1 + 3l + H c_2] \right).$$

$$c_1 = \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha), c_2 = \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha), \quad (15)$$

Для расчета штабеля груза вида (рис. 2, IV) рассмотрим трапеции  $ABCM_3$  или  $M_2BCD$  (рис. 4). Аналогично получим:

для трапеции  $ABCM_3$ :

$$l = \frac{S}{H} - \frac{1}{2} H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha), \quad (16)$$

$$L = \frac{S}{H} + \frac{1}{2} H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha); \quad (17)$$

для трапеции  $M_2BCD$ :

$$l = \frac{S}{H} - \frac{1}{2} H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha), \quad (18)$$

$$L = \frac{S}{H} + \frac{1}{2} H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha). \quad (19)$$

Координаты центра масс  $P$  относительно левой вершины нижнего основания:  
для трапеции  $ABCM_3$ :

$$P \left( \frac{H}{6S} [2H^2 \operatorname{ctg}^2(\varphi - \alpha) + 6Hl \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + 3l^2]; \frac{H^2}{6S} [H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + 3l] \right); \quad (20)$$

для трапеции  $M_2BCD$ :

$$P \left( \frac{H}{6S} [3l^2 + 3lH \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) + H^2 \operatorname{ctg}^2(\varphi + \alpha)]; \frac{H^2}{6S} [3l + H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)] \right). \quad (21)$$

**Расчет оптимального расположения штабелей грузов в трюме.** Пусть в трюме требуется разместить  $n$  (обычно  $2 \leq n \leq 5$ ) видов грузов, так, чтобы при погрузке, транспортировке и выгрузке эти грузы не смешивались. Массу, насыпную плотность, угол естественного откоса для каждого из грузов обозначим через  $m_k$ ,  $\rho_k$  и  $\varphi_k$  соответственно. Размеры трюма: длина  $L$ , ширина  $d$  и высота  $H$ . Угол дифферента –  $\alpha$ . Вообще говоря, каждый из грузов можно попытаться разместить в центральной части трюма или в его крайних частях: носовой или кормовой.

Вычисляем площадь продольно сечения штабеля для каждого из грузов.

Для каждого из грузов просчитываем форму и габариты штабеля при каждом из вариантов размещения (корма, центр, нос). Треугольная форма штабеля возможна при выполнении условий (9), (4), (10) соответственно. При выполнении этих условий определяем длину нижнего основания  $L_{kk}$ ,  $L_{kц}$ ,  $L_{kn}$  штабеля груза по формулам (6), (3), (8), а при невыполнении – по формулам (19), (14), (17).

Чтобы задать способ размещения  $R_j$  грузов, требуется выбрать, какой груз будет расположен в кормовой части, а какой – в носовой. Остальные грузы будут размещены в

центральной части. Таким образом, фактически имеем всего  $N = n(n-1)$  способов размещения грузов в трюме. Например, при  $n = 3$  имеем  $N = 3 \cdot 2 = 6$  и т.д.

Для каждого из этих способов определяем сумму длин нижних оснований  $\sum_{k=1}^N L_k$  штабелей всех грузов. Если для хотя бы рассматриваемого способа размещения выполнено условие:

$$\sum_{k=1}^N L_k < L, \quad (22)$$

то такой способ считаем допустимым

Если есть несколько допустимых способов, то среди них выбирается оптимальный – такой, при котором сумма  $\sum_{k=1}^N L_k$  принимает минимально возможное значение. Для этого способа определяем расстояние между основаниями штабелей груза, высоту и верхнее основание каждого штабеля и координаты центра масс для каждого из штабелей относительно левого края его основания (формулы (1), (11), (12), (15), (20) или (21) в зависимости от формы штабеля и его расположения) и относительно с учетом места расположения штабеля.

Если условие (22) не выполнено ни для одного из способов, то размещение такого набора грузов в трюме невозможно и нужно уменьшить массу одного из грузов.

#### **Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению.**

1. При составлении грузового плана судна типа «коастер» навалочным или насыпным грузом, грузовому помощнику капитана необходимо учитывать возможное пересыпание груза.

2. Предлагаемая математическая модель учитывает смещение груза при наличии дифферента судна и позволяет определить координаты центра массы каждого сместившегося штабеля в зависимости от линейных размеров трюма, угла естественного откоса груза и начального дифферента судна.

3. Программа расчета координат центра масс каждого штабеля груза является дополнением к судовой грузовой программе и сокращает затраты времени грузового помощника капитана на определение мореходных качеств судна после его погрузки.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Хомяков В. Ю. Расчет высоты штабеля навалочного груза при загрузке судов типа «коастер» / В. Ю. Хомяков, В. Д. Савчук // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека», 19-20 листопада 2013 року. – Одеса : ОНМА, 2013. – С. 136-139.
2. Хомяков В. Ю. Смещение центра тяжести штабеля навалочного груза при загрузке судов типа «коастер» / В. Ю. Хомяков, В. Д. Савчук // Матеріали VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених і студентів «Удосконалювання проектування та експлуатації морських суден і споруд» (2-6 грудня 2013 року). – Севастополь, 2014. – С. 159-164.
3. Хомяков В. Ю. Диаграмма графического расчета массы навалочных грузов при перевозке с «естественной» сепарацией / В. Ю. Хомяков, В. Д. Савчук // Матеріали шостої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (MINTT – 2014) (27-29 травня 2014 року). – Херсон : ХДМА, 2014. – С. 147-148.
4. Хомяков В. Ю. Загрузка судна типа «коастер» навалочным грузом с использованием метода «естественной» сепарации / В. Ю. Хомяков, В. Д. Савчук // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон: Видавництво ХДМА, 2014. – № 1 (10). – С.64-70

5. Клименко Е. Н. Определение конфигурации поверхности насыпного груза в трюме судна методом Нелдера-Мида / Е. Н. Клименко, В. Д.Савчук // Матеріали науково-методичної конференції «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві» (18-19 листопада 2014 року). – Одеса : ОНМА, 2014. – С. 70-75.

6. Клименко Е. Н. Система автоматизированного контроля грузовых операций балкера / Е. Н. Клименко // Судовождение: сб. научн. трудов / ОНМА. – Вып. 24. – Одесса : «Издат-Информ», 2014. – С. 84-91.

## REFERENCES

1. Khomyakov V. Yu. Raschet vihsotih shtabelya navalochnogo gruzha pri zagruzke sudov tipa «koaster» / V. Yu. Khomyakov, V. D. Savchuk // Materiali naukovno-teoretichnoї konferencії «Sudnoplavstvo: perevezennya, tekhnichni zasobi, bezpeka», 19-20 listopada 2013 roku. – Odesa : ONMA, 2013. – S. 136-139.

2. Khomyakov V. Yu. Smethenie centra tyazhesti shtabelya navalochnogo gruzha pri zagruzke sudov tipa «koaster» / V. Yu. Khomyakov, V. D. Savchuk // Materiali VIII Vseukraїnsjkoї naukovno-tekhnichnoї konferencії molodikh vchenikh i studentiv «Udoskonalyuvannya proektuvannya ta ekspluatacії morsjikh suden i sporud» (2–6 grudnya 2013 roku). – Sevastopolj, 2014. – S. 159-164.

3. Khomyakov V. Yu. Diagramma graficheskogo rascheta massih navalochnikhkh gruzov pri perevozke s «estestvennoy» separaciey / V. Yu. Khomyakov, V. D. Savchuk // Materiali shostoї Mizhnarodnoї naukovno-praktichnoї konferencії «Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti» (MINTT – 2014) (27–29 travnya 2014 roku). – Kherson : KhDMA, 2014. – S. 147-148.

4. Khomyakov V. Yu. Zagruzka sudna tipa «koaster» navalochnikh gruzom s ispoljzovaniem metoda «estestvennoy» separacії / V. Yu. Khomyakov, V. D. Savchuk // Naukoviy visnik Khersonsjoї derzhavnoї morsjoї akademії : naukoviy zhurnal. – Kherson : Vidavnictvo KhDMA, 2014. – № 1 (10). – S.64-70

5. Klimenko E. N. Opredelenie konfiguracії poverkhnosti nasihpnogo gruzha v tryume sudna metodom Neldera-Mida / E. N. Klimenko, V. D.Savchuk // Materiali naukovno-metodichnoї konferencії «Morsjki perevezennya ta informacijni tekhnologii v sudnoplavstvi» (18-19 listopada 2014 roku). – Odesa : ONMA, 2014. – S. 70-75.

6. Klimenko E. N. Sistema avtomatizirovannogo kontrolya gruzovihkh operacij balkera / E. N. Klimenko // Sudovozhdenie: sb. nauchn. trudov / ONMA. – Vihp. 24. – Odessa : «Izdat-Inform», 2014. – S. 84-91.

## Хомяков В.Ю., Савчук В.Д. ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ЦЕНТРА МАСИ ШТАБЕЛЯ НАВАЛОЧНОГО ВАНТАЖУ ПРИ НАЯВНОСТІ ДИФЕРЕНТА СУДНА

*У практиці одночасного сумісного перевезення декількох видів навалочних або насипних вантажів на судні типу «коастер» між портами Північної Європи і Норвегії в басейнах Північного, Норвежського і Балтійського морів розміщення таких вантажів в трюмі окремими штабелями здійснюється з використанням метода «природної» сепарації. У зв'язку з таким завантаженням, вантажний помічник капітана, при розрахунках морехідних характеристик судна, вважає, що кожна насип є окремим вантажем і має свою масу, свої координати центра маси, створює свій момент відносно міделя і т.д. На т/х «Wilson Bilbao» були виконані рейсові спостереження при одночасному перевезенні декількох видів навалочних вантажів. Установлено факт, якщо судно немає диферента і завантаження здійснюється на «на рівному кілі», то вантаж розміщується, частіше за все, наступним чином. В носовій і кормовій частині трюма судна штабель має форму прямокутного трикутника або прямокутної трапеції, а в центральній частині трюма, в залежності від його об'єму, має форму рівнобедреної трапеції або рівнобедреного трикутника. Якщо ж судно має початковий диферент, то при завантаженні навалочного і, особливо, насипного вантажу виникає процес його зміщення і пересипання. Кут при основі цих штабелів вантажу змінюються на кут диферента: один із кутів збільшується, другий – зменшується. Виникає переміщення центра маси штабеля вантажу, що потрібно враховувати при розрахунках остійності судна після закінчення процесу завантаження. В статті розглянута математична модель, що дозволяє розрахувати координати центра маси штабеля вантажу, який змістився а*

залежності від лінійних розмірів трюму, кута природного укосу вантажу та початкового диферента судна.

**Ключові слова:** судно типу «коастер», розрахунок координат центра маси штабеля навалочного вантажу.

**Khomyakov V.Yu., Savchuk V.D. CALCULATION THE CENTER OF MASS COORDINATES OF BULK CARGO STACK WITH AVAILABILITY OF VESSEL'S TRIM**

*In practice of simultaneous transportation of several types of bulk cargo by coaster type vessels between ports of Northern Europe and Norway in the North Sea, Norwegian Sea and Baltic Sea areas, and also placement of such cargo in the hold by separate stacks is carried out by the «natural» separation method. In accordance with such loading, cargo mate believes that each mound is a separate load and has its own mass, the center of mass coordinates, creates a moment relative to the midship section, etc., during calculations of seaworthiness of a vessel. Voyage observations of the simultaneous transportation of several types of bulk cargo by m/v «Wilson Bilbao» were made. It is found that, if the ship has no trim and loading is performed on an even keel, the load is placed, most often, as follows. In fore and aft of the vessel's hold a stack has the shape of a right triangle or rectangular trapezoid, and has the shape of an isosceles trapezium or an isosceles triangle in the central part of the hold, depending of its volume. There is a moving and pouring if the ship has a trim, when loading bulk cargo especially. The angles at the base of these cargo stacks change in the angle of trim: one of the angles increases, the other one decreases. There is moving of stack center of mass of shifted cargo that can not be ignored in the calculation of the stability of a vessel after completion of loading. The mathematical model that allows to calculate a coordinates of the center of mass of a shifted cargo depending of the hold linear dimensions, angle of repose of a cargo and the initial trim of the vessel, is considered in the article.*

**Keywords:** coaster type vessel, calculation of the center of mass coordinates of bulk cargo pile.

© Хомяков В.Ю., Савчук В.Д.

Статтю прийнято  
до редакції 3.04.15

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕХОДА СУДНА НА ЗАДАННЫЙ КУРС ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАКОНАХ УПРАВЛЕНИЯ

**Шевченко В.А.**

*Одесская национальная морская академия*

*В работе проведен анализ существующего принципа функционирования систем автоматического управления курсом судна. Осуществлено моделирование процесса выхода судна на новый курс с применением традиционного пропорционально-интегрально-дифференциального закона управления и, предложенного для повышения быстродействия релейного закона управления. Показаны преимущества применения релейного закона в отношении быстродействия.*

**Ключевые слова:** управление курсом, быстродействие, ПИД, релейное управление, безопасность мореплавания.

**Введение.** Современные требования к безопасности мореплавания и повышения эффективности эксплуатации транспортных средств, сформулированные в ряде научных работ, например в [1], требуют усовершенствования существующих законов управления и реализации системой автоматического управления курсом судна (САУ КС) новых режимов, обеспечивающих необходимое быстродействие.

**Актуальность исследований.** Большинство эксплуатируемых сегодня САУ КС реализуют пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон управления. Эффективность управления в таком случае достигается подбором наиболее подходящих значений коэффициентов ПИД-контроллера.

Анализируя последние научные труды и публикации в области повышения эффективности работы САУ КС, следует отметить работы [2,3], в которых рассматриваются адаптивные и интеллектуальные способы настройки коэффициентов ПИД-контроллера.

Помимо режима стабилизации судна на курсе на сегодняшний день возникла необходимость во введении в существующую САУ КС новых режимов, в частности режима перехода на заданный курс за минимальное время. Возможности ПИД-контроллера в данном случае являются ограниченными и не всегда удовлетворяют современным требованиям. Следует отметить, что режим перехода на заданный курс при больших курсовых поправках в настоящее время реализуется вручную.

Автоматизация такого режима требует анализа применения различных законов управления и выбора наиболее подходящего из них в отношении быстродействия. Решению задачи по повышению быстродействия САУ КС в режиме введения курсовых поправок посвящена работа [4]. В качестве математического аппарата в работе [4] были использованы теорема Фельдбаума об  $n$  интервалах и принцип максимума Понтрягина.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является определение эффективности применения альтернативного существующему закону управления путем моделирования перехода судна на заданный курс при значительных курсовых поправках (отклонениях). Критерием эффективности применения закона управления будем считать быстродействие. Моделирование процесса управления курсом предполагается проводить с учетом отсутствия влияния на судно возмущающих воздействий. При этом в качестве объекта моделирования будем использовать грузовое судно дедвейтом 16622 тонны с электрогидравлической рулевой машиной постоянной производительности, параметры которого описаны в работе [5], а в качестве примера курсовой поправки – поправка на  $30^\circ$ .

**Результаты исследований.** Для режима перехода на заданный курс были рассмотрены ПИД-закон и предложенный в работе [4] релейный законы управления, а также определены параметры соответствующих сигналов управления.

В первом случае для моделирования процесса перехода судна на заданный курс при значительных курсовых поправках использовался настроенный для используемого судна ПИД-контроллер [5] (рис. 1).

Моделирование проводилось на платформе SIMULINK пакета программ MATLAB с использованием патентованной библиотеки морских судов, установок и средств управления GNC [5].

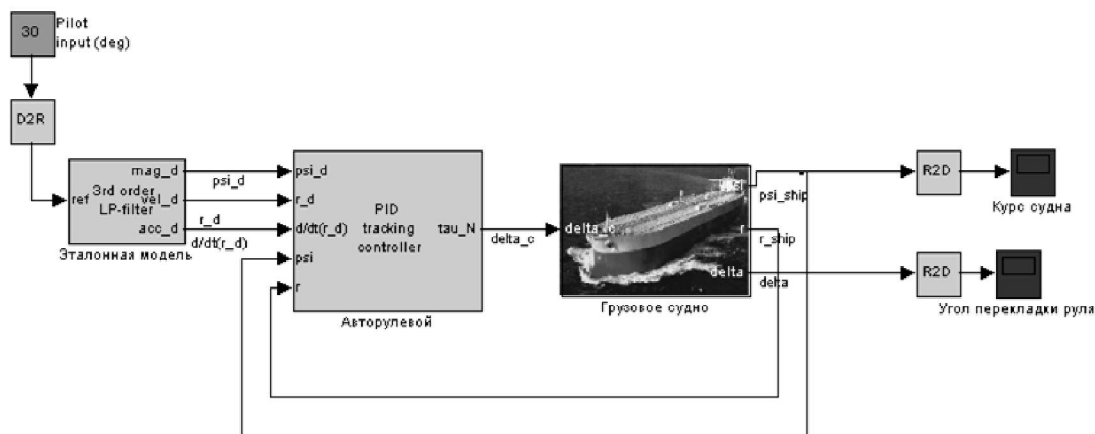


Рисунок 1 – Структурная схема САУ КС, использующей ПИД-контроллер

Результаты моделирования процесса управления курсом с использованием ПИД-контроллера при введении курсовой поправки изображены на графиках рис. 2.

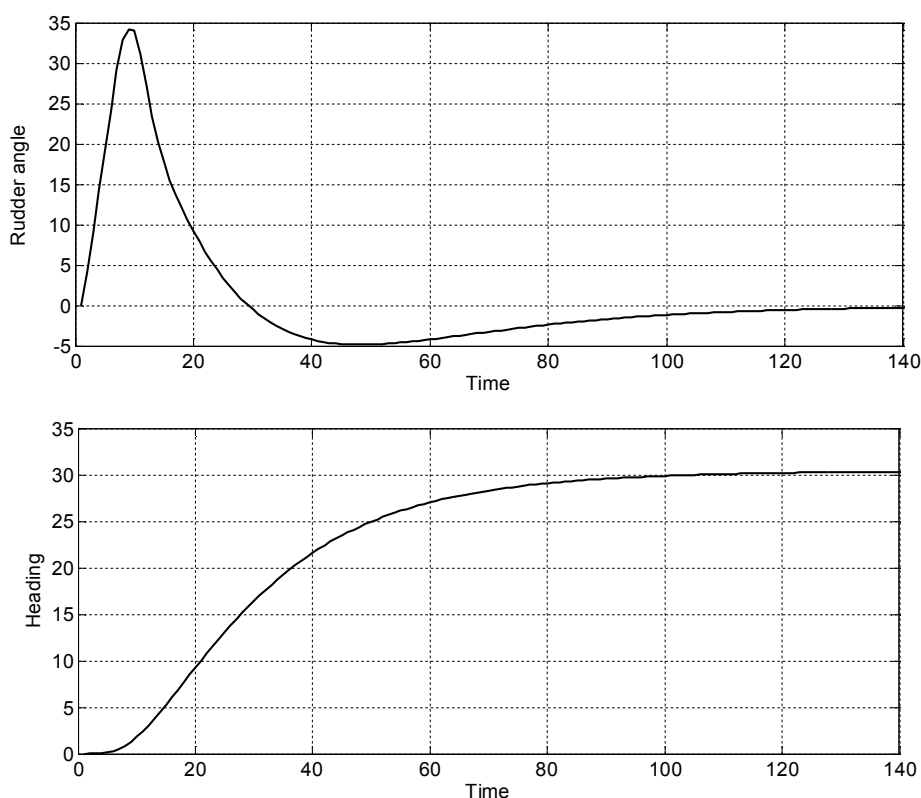


Рисунок 2 – Графики зависимости перекладки руля и курса судна от времени при использовании ПИД-контроллера, где Rudder angle – угол перекладки пера руля; Time – время; Heading – курс судна

Из графика зависимости курса судна от времени видно, что с использованием ПИД-контроллера при курсовой поправке на  $30^\circ$  судно выходит на заданный курс за 95 секунд.

При релейном управлении величина релейного сигнала соответствует максимально допустимому углу перекладки пера руля (в данном случае  $35^\circ$ ). Моменты переключения управляющего сигнала определялись из системы уравнений (1), [6]:

$$\begin{cases} e^{-\lambda t_3} - e^{-\lambda t_2} + e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t''} + e^{-\lambda t'} - 1 = 0, \\ t_3^2 - t_2^2 + t_1^2 - (t'')^2 + (t')^2 + 2 \frac{x_k}{k \dot{\delta}_{\max}} = 0, \\ t_3 - t_2 + t_1 - t'' + t' = 0; \end{cases} \quad (1)$$

где  $t_1$  – первый момент переключения (смены знака сигнала управления);  $t_2$  – второй момент переключения,  $t_3$  – момент обращения управляющего сигнала в 0;  $\dot{\delta}_{\max}$  – максимальная скорость перекладки руля;  $\lambda_1, \lambda_2$  – корни характеристического уравнения системы рулевая машина – судно;  $x_k = \alpha_k$  – курсовая поправка;  $k = k_p k_c$  – коэффициент передачи звена судно – рулевая машина;  $t'$  – время перекладки пера руля от диаметральной плоскости до граничного положения,  $t'' = t_1 + 2t'$ .

Параметры системы уравнений (1) применительно к рассматриваемому объекту моделирования имеют значения [5]:  $-\lambda = 1/T_c = 0,00932$  1/сек;  $t' = 7$  сек;  $x_k = 30^\circ = 0,523$  рад;  $\dot{\delta}_{\max} = 5^\circ/\text{сек} = 0,087$  рад/сек;  $k = 0,185$  1/сек;

Система (1) решалась методом сопряженных градиентов при помощи программы, написанной на языке С с применением библиотеки численных методов решения математических задач GSL.

В результате расчета для курсовой поправки на  $30^\circ$  и выбранного судна были получены значения моментов переключения  $t_1, t_2, t_3$ :  $t_1 = 21,443$  сек,  $t_2 = 45,243$  сек,  $t_3 = 52,243$  сек.

Структурная схема системы управления, работающей по релейному закону, представлена на рис. 3.

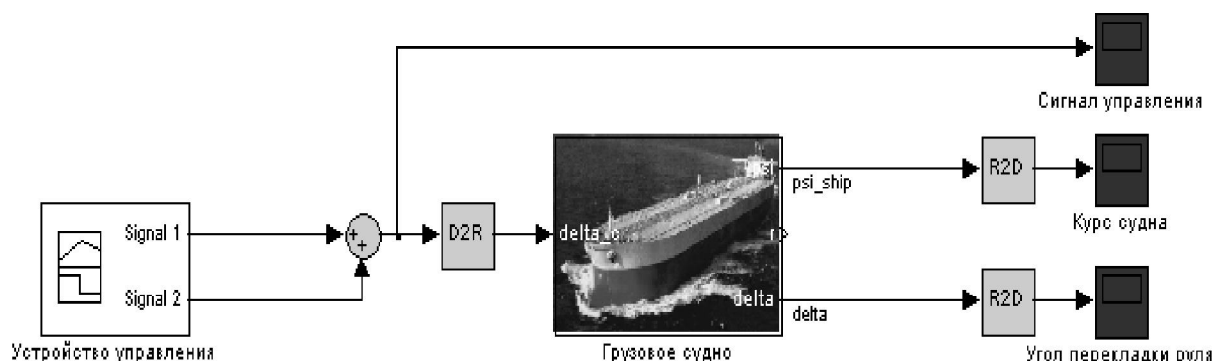


Рисунок 3 – Структурная схема системы управления, работающей по релейному закону

Результаты моделирования курсовой поправки при релейном законе управления изображены на графиках рис. 4.

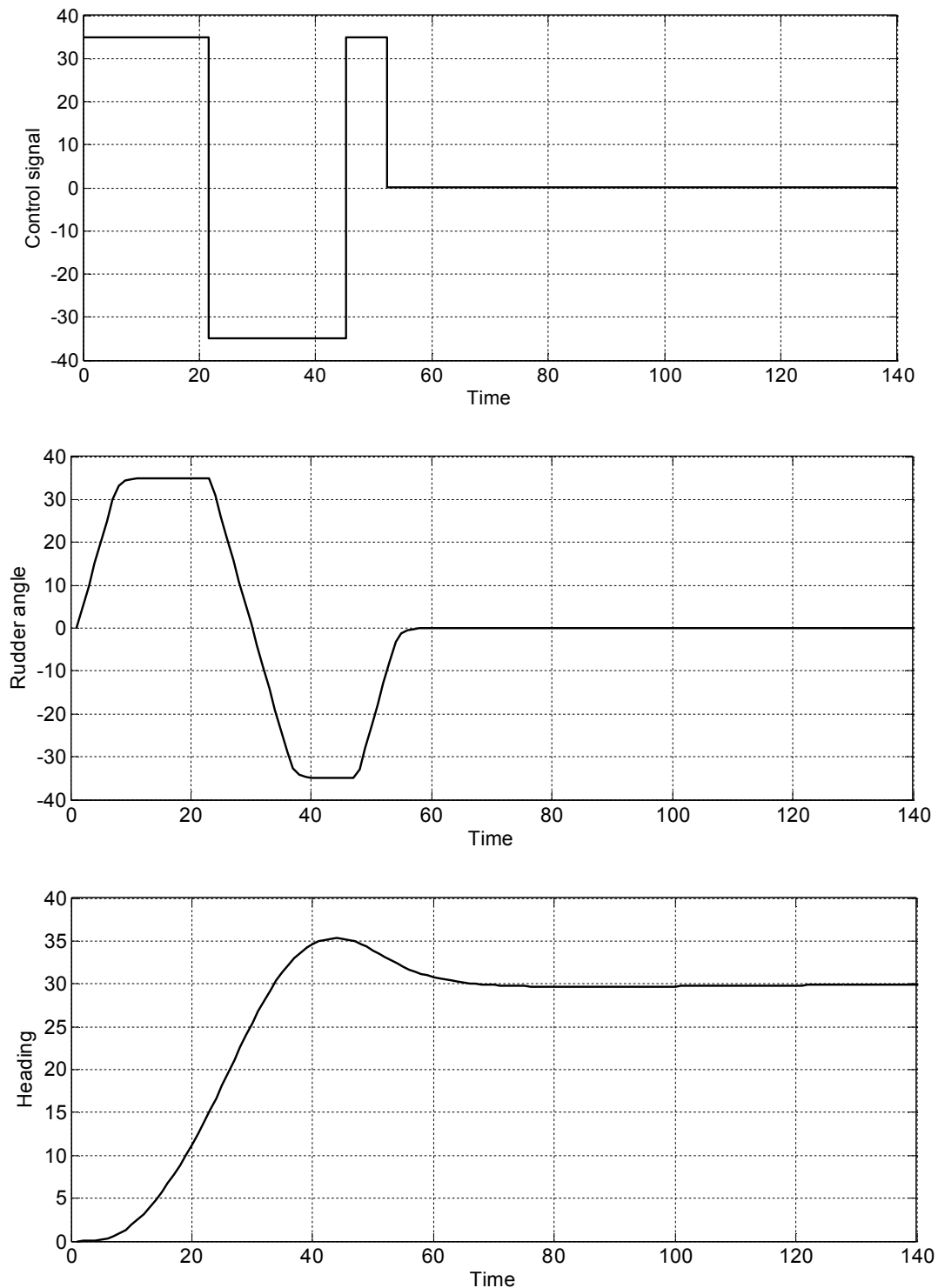


Рисунок 4 – Графики зависимости управляющего сигнала, перекладки руля и курса судна от времени при релейном законе управления

Из графика зависимости курса судна от времени (рис. 4) видно, что при релейном законе регулирования при курсовой поправке на  $30^\circ$  судно выходит на заданный курс за 65 секунд. Перерегулирование, в данном случае, обусловлено постоянной скоростью перекладки руля.

**Выводы.** Моделирование перехода судна на заданный курс при значительных курсовых поправках (отклонениях) с применением ПИД и релейного законов управления показало преимущество использования релейного закона управления в отношении быстродействия (65 секунд против 95-ти).

Полученные результаты показывают эффективность применения релейного закона управления при автоматизации режима перехода на заданный курс при больших курсовых поправках. Автоматизация такого режима повысит безопасность мореплавания и эффективность эксплуатации транспортных средств.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Мальцев А. С. Теорія і практика безпечного управління судном при маневруванні : автореф. дис. на здоб. наук. ступ. д.т.н. / Мальцев Анатолій Сидорович. – Одеса, 2007. – 36 с.
2. Виткалов Я. Л. Исследование проблем синтеза нейросетевого контроллера в задаче управления курсом судна : автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / Виткалов Ярослав Леонидович. – Владивосток, 2006. – 25 с.
3. Подпорин С. А. Развитие методов интеллектуального управления движением судна на курсе. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.22.13 – Навигация и управление движением. Одесская национальная морская академия. – Одесса, 2009 г.
4. Захарченко В. Н. Повышение быстродействия системы управления судном при больших отклонениях курса / В. Н. Захарченко, В. С. Луковцев, В. А. Шевченко. // Судовождение. – Вып.16. – ОНМА, 2009.
5. Fossen, T. I. (2002). Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics. ISBN 82-92356-00-2.
6. Антомонов Ю. Г. Автоматическое управление с применением вычислительных машин / Ю. Г. Антомонов. – Л. : Судпромгиз, 1962. – 340 с.

### **REFERENCES**

1. Maltsev A. S. Teoriia i praktyka bezpechnoho upravlinnia sudnom pry manevruvanni : avtoref. dys. na zdob. nauk. stup. d.t.n. / Maltsev Anatolii Sydorovych. – Odesa, 2007. – 36 p.
2. Vitkalov Ya. L. Issledovanie problem sinteza neyrosetevogo kontrollera v zadache upravleniya kursom sudna : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchyonoyj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Vitkalov Yaroslav Leonidovich. – Vladivostok, 2006. – 25 p.
3. Podporin S. A. Razvitie metodov intelektualjnogo upravleniya dvizheniem sudna na kurse. – Rukopisj. Dissertaciya na soiskanie uchenoyj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Specialnostj 05.22.13 – Navigaciya i upravlenie dvizheniem. Odesskaya nacionaljnaya morskaya akademiya. – Odessa, 2009.
4. Zakharchenko V. N. Povihshenie bihstrodeyjstviya sistemih upravleniya sudnom pri boljshikh otkloneniyakh kursa / V. N. Zakharchenko, V. S. Lukovcev, V. A. Shevchenko. // Sudovozhdenie. – Vip.16. – ONMA, 2009.
5. Fossen, T. I. (2002). Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics. ISBN 82-92356-00-2.
6. Antomonov Yu. G. Avtomaticheskoe upravlenie s primeneniem vihchisliteljnihkh mashin / Yu. G. Antomonov. – L. : Sudpromgiz, 1962. – 340 p.

**Шевченко В.А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕХОДУ СУДНА НА ЗАДАНИЙ КУРС ПРИ РІЗНИХ ЗАКОНАХ КЕРУВАННЯ**

*У роботі проведено аналіз існуючого принципу функціонування систем автоматичного керування курсом судна. Здійснено моделювання процесу виходу судна на новий курс із застосуванням традиційного пропорційно-інтегрально-диференційного закону управління. Показані переваги застосування релейного закону у відношенні швидкодії.*

*Ключові слова: управління курсом, швидкодія, ПІД, релейне управління, безпека судноплавства.*

**Shevchenko V.A. RESEARCH OF SHIPS' COURSE CHANGING PROCESS USING DIFFERENT CONTROL LAWS**

*An analysis of conventional course keeping control system operation principle was conducted in the paper. A modelling of course changing process using conventional proportional-integral-derivative control law and offered for fast acting relay law was carried out. Advantages of using the relay control law when fast acting is needed were shown.*

*Keywords: course control, fast acting, PID, relay control, safety of navigation.*

© Шевченко В.А.

Статтю прийнято  
до редакції 1.04.15

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В КАНАЛАХ РАДИОСВЯЗИ ГМССБ

*Шишкин А.В.*

*Одесская национальная морская академия*

*Разработаны алгоритмы встраивания дополнительной цифровой информации непосредственно в звуковой сигнал по технологии цифровых водяных знаков (ЦВЗ). Решение о передаче ЦВЗ принимается в рамках компромиссной задачи количество информации – слуховая невосприимчивость – помехоустойчивость на основе оценки нормы вносимых искажений в узкополосных субканалах и сравнения ее с пороговым значением. Помехоустойчивость ЦВЗ обеспечивается передачей каждого бита встраиваемой информации в узкополосном частотном канале и применением помехоустойчивого кодирования. Обнаружение ЦВЗ построено на оценке нормы вектора искажений с последующим декодированием. Разработанные алгоритмы позволяют получить среднюю скорость передачи информации в асинхронном режиме в диапазоне 100–350 бит/с при искажениях не превышающих – 20 дБ в условиях действия типовых помех в канале радиосвязи. Алгоритмы применимы как в аналоговых, так и в цифровых спутниковых каналах морской подвижной службы, а также в УКВ радиосвязи системы управления полетами гражданской авиации.*

*Ключевые слова: радиосвязь, аналоговые и цифровые каналы, цифровые водяные знаки, автоматическая идентификация, спутниковые каналы, глобальная морская система связи при бедствии, коды исправляющие ошибки, коэффициент корреляции.*

**Введение.** Глобальная морская система связи при бедствии (ГМССБ) является обязательной для всех грузовых судов валовой вместимости 300 рег. тонн и более и всех пассажирских судов, совершающих международные рейсы [1]. Для голосовой связи в ГМССБ используются аналоговые каналы наземной радиосвязи в ультракоротковолновом (УКВ) диапазоне, в промежуточном (ПВ) и коротковолновом (КВ) диапазонах, а также спутниковые цифровые каналы. В каналах наземной радиосвязи отсутствует техническая возможность автоматического опознавания (или идентификации) передающей станции. Опознавание передающей станции при радиотелефонной связи полностью возложено на оператора станции, который обязан голосом называть название судна, его позывной сигнал или цифровой идентификатор. Однако голосовая идентификация сопряжена с возможным ошибочным восприятием информации, задержкой или вообще – отсутствием идентификации. Известна также проблема технического характера, связанная с западанием тангенты телефонной трубки, когда радиостанция постоянно находится в передающем режиме и блокирует передачи других станций [2]. При этом определение блокирующей радиостанции невозможно из-за отсутствия сигнала идентификации. Возможны также радиопередачи преднамеренно анонимного характера, особенно вредные на 16-м канале бедствия и безопасности УКВ диапазона.

Известна статья [3], в которой автоматическую идентификацию голосовых передач в системе управления полетами гражданской авиации предложено осуществлять путем распознавания в речи невокализованных фонем и подмены их шумоподобным процессом, в котором заключена дополнительная информация о номере воздушного судна. Однако этот метод основан на использовании в качестве сигнала-носителя только речевого сигнала и не работоспособен для более широкого класса аудиосигналов, а также в ситуациях по источнику [2].

В работе [4] предложен метод автоматической идентификации (АИ) передающей радиостанции путем передачи цифрового идентификатора судна непосредственно в составе низкочастотного звукового сигнала. Метод базируется на технологии цифровых водяных знаков (ЦВЗ), которые находят применение, в первую очередь, в мультимедийных компьютерных файлах для защиты авторских прав [5, 6]. Реализация АИ

в морской радиосвязи устраняет влияние так называемого человеческого фактора на надежность, достоверность и своевременность идентификации передающей станции. Предложенный метод не требует замены радиооборудования и эксплуатационных процедур радиосвязи, обеспечивает совместимость с обычной аппаратурой без функции АИ.

Передача дополнительной информации также возможна и в цифровых спутниковых каналах спутниковых каналах, например, для текстового сопровождения голосового сообщения или скрытной передачи информации при террористической угрозе.

Основной проблемой в развитии технологии передачи дополнительной информации как в аналоговых, так и цифровых каналах является обеспечение помехоустойчивости встроенной в звуковой сигнал информации при сохранении ее слуховой невосприимчивости.

**Целью** настоящей статьи является разработка помехоустойчивых методов встраивания, обнаружения и извлечения информации в телефонные сообщения, передаваемые в аналоговых и цифровых радиоканалах систем радиосвязи ГМССБ.

#### Результаты исследований.

**Применение технологии ЦВЗ в морской радиосвязи.** Принятая концепция АИ базируется на передаче дополнительной цифровой информации в виде ЦВЗ непосредственно на фоне речевого сигнала. ЦВЗ не требует расширения частотной полосы и дополнительного времени передачи сообщения. Встраивание информации приводит лишь к незначительным искажениям сигнала, которые не воспринимаются на слух. Структурная схема передачи дополнительной информации в виде ЦВЗ в радиотелефонном канале радиосвязи представлена на рис. 1.

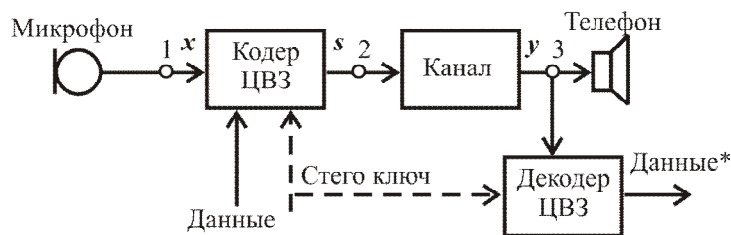


Рисунок 1 – Структурная схема системы передачи дополнительной информации

На модулятор ЦВЗ поступает звуковой сигнал с микрофона радиостанции (точка 1), а также встраиваемые данные и, возможно, стеганографический ключ, который при необходимости запрещает публичный доступ к встроенной информации. Модулятор ЦВЗ размещен в разрыве цепи микрофон – стандартный канал. Под стандартным каналом (точки 2 – 3) подразумевается весь комплекс приемо-передающей аппаратуры, включая собственно среду передачи радиоволн от передатчика к приемнику. Считаем, что этот канал не подлежит модификации разработчиком ЦВЗ. Таким образом, в стандартный канал, в точке 2, поступает композитный сигнал, который несколько является слегка искаженным по отношению к исходному звуковому сигналу за счет встроенных ЦВЗ. В канале композитный сигнал подвергается обычной для радиосвязи обработке в трансивере (усиление, амплитудно-частотные искажения, модуляция несущей частоты, демодуляция), а также воздействию помех радиоканала. Принятый композитный сигнал снимается с низкочастотного выхода усилителя приемника (точка 3) и поступает в демодулятор ЦВЗ для извлечения данных.

Принципиальным является тот факт, что встраивание ЦВЗ в модуляторе осуществляется с учетом знания звукового сигнала-носителя. Учет информации о сигнале-носителе приводит к некоторой задержке передачи (в нашем случае 64 мс), что не сказывается на ведении переговоров в реальном времени. При этом учет информации о сигнале-носителе позволяет исключить его влияние на ЦВЗ, при использовании соответствующих алгоритмов встраивания информации.

*Одноканальный алгоритм ЦВЗ.* Одноканальный алгоритм ЦВЗ базируется на квантовании коэффициента корреляции сигнального вектора  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_L)$  и некоторого случайного вектора  $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_L)$ . При этом генерируемый вектор композитного сигнала  $\mathbf{s} = (s_1, s_2, \dots, s_L)$  имеет ту же норму, что и исходный вектор звукового сигнала  $\mathbf{x}$ . Физически сохранение нормы сигнала означает сохранение его мощности. В статье [7] показано, что данный алгоритм обеспечивает минимизацию вносимых искажений  $\|\mathbf{x} - \mathbf{s}\| = \min$  при сохранении нормы  $\|\mathbf{s}\| = \|\mathbf{x}\|$ . Сохранение нормы необходимо для обеспечения нечувствительности ЦВЗ к амплитудным искажениям.

В соответствии с разработанным алгоритмом коэффициент корреляции подвергается квантованию на числовой решетке, задаваемой формулой:

$$\Lambda_m = \{\Delta N + \frac{\Delta}{2}m + \delta\} \cap [0, 1), \quad (1)$$

где  $\Delta$  – шаг квантования,  $N$  – последовательность натуральных чисел, включая ноль,  $m = \{0, 1\}$  – встраиваемый бит данных,  $\delta$  – смещение решетки.

Например, полагая  $\Delta = 0,5$ ,  $\delta = 0,1$ , числовые решетки образуются последовательностями:  $\Lambda_0 = \{0, 1; 0, 6\}$  и  $\Lambda_1 = \{0, 35; 0, 85\}$ . Параметры  $\Delta$ ,  $\delta$  могут быть включены в стего-ключ наряду со случайным вектором  $\mathbf{u}$ .

Вычисления вектора  $\mathbf{s}$  производят пошагово в соответствии с формулами (2) – (6) ниже:

1-й шаг: вычисление коэффициента корреляции:

$$\tilde{x} = (\mathbf{x}, \mathbf{u}) / \|\mathbf{x}\| \|\mathbf{u}\|, \quad (2)$$

где  $(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \sum_{i=1}^L x_i u_i$  – скалярное произведение векторов,  $\|\mathbf{x}\| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_L^2}$  – евклидова норма вектора.

В общем случае коэффициент корреляции выражается комплексным числом.

2-й шаг: квантование коэффициента корреляции. Квантованию подвергается модуль числа  $\tilde{x}$  на решетке из формулы (1), фаза квантованного значения остается прежней  $\varphi_s = \varphi_x$ . Амплитуда квантованного значения  $A_s$  вычисляется как ближайшее значение числовой решетки к модулю коэффициента корреляции по формуле:

$$A_s = \arg \min_{\lambda \in \Lambda_m} d(\lambda, |\tilde{x}|). \quad (3)$$

Тогда квантованный коэффициент корреляции выражается формулой:

$$\tilde{s} = A_s \exp(j\varphi_s). \quad (4)$$

3-й шаг: вычисление коэффициентов преобразования:

$$\alpha_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \tilde{s} \tilde{s}^*}{1 - \tilde{x} \tilde{x}^*}}, \quad \beta = \tilde{s} - \alpha \tilde{x}. \quad (5)$$

В формуле (5) следует принимать арифметическое значения квадратного корня.

4-й шаг: вычисление композитного вектора, содержащего ЦВЗ:

$$\mathbf{s} = \alpha \mathbf{x} + \beta \mathbf{u} \frac{\|\mathbf{x}\|}{\|\mathbf{u}\|}. \quad (6)$$

Одноканальный алгоритм формирования ЦВЗ по формулам (1) – (6) позволяет исключить влияние амплитудных искажений сигнала на достоверность восстановления скрытых данных в приемнике.

*Многоканальный алгоритм.* Сигнал ЦВЗ  $w = s - x$  передается в общем радиотелефонном канале. Как показали исследования, наиболее губительной помехой для него являются межсимвольные искажения, возникающие в низкочастотных инерционных цепях, содержащих реактивные элементы, трансивера. Полоса звуковых частот трансивера ограничена диапазоном (100–3000) Гц, а амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) существенно неравномерна. Поэтому передача ЦВЗ в общем частотном канале, с априори, неизвестной АЧХ сопряжена со значительным влиянием сильного сигнала-носителя  $x$  на слабый сигнал  $w$ .

Для уменьшения влияния межсимвольной интерференции предложено передавать ЦВЗ параллельно в узких частотных полосах, используя для модуляции коэффициенты быстрого преобразования Фурье (БПФ). Принципиальным является тот факт, что сигнальный вектор  $x$  формируется из коэффициентов одной и той же частоты или соседних коэффициентов. В этом случае можно считать, что все коэффициенты вектора подвергаются одинаковым амплитудным искажениям.

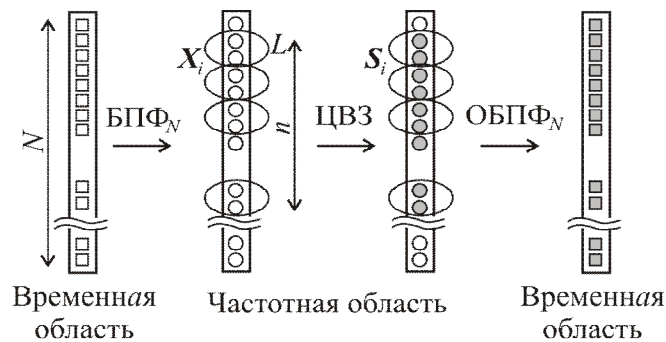


Рисунок 2 – Формирование векторов

Формирование векторов в частотной области коэффициентов БПФ представлено на рис. 2 для длины векторов  $L = 2$ . Первоначально звуковой фрейм из  $N$  отсчетов преобразуется путем БПФ в частотную область. Затем соседние по частоте коэффициенты образуют субканальные векторы  $X_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , где  $n$  представляет общее число субканалов и соответственно количество бит информации ЦВЗ. Нулевой коэффициент (постоянная составляющая) остается свободным.

Ширина полосы частот каждого субканала равна  $\Delta f = F_s L / N$  Гц. Для частоты дискретизации  $F_s = 8$  кГц, длине вектора  $L = 2$  и размерности БПФ  $N = 512$   $\Delta f = 31,25$  Гц.

В результате преобразований по формулам (1) – (6) в частотной области вектор  $X_i$  трансформируется в вектор  $S_i$  при сохранении нормы  $\|S_i\| = \|X_i\|$ . Таким образом, общий баланс мощности в пределах каждой частотной полосы  $\Delta f$  остается прежним, что обеспечивает слуховую невосприимчивость внесенных искажений.

На рис. 2 модифицированные коэффициенты и отсчеты помечены серой заливкой. На последнем этапе путем обратного БПФ (ОБПФ) формируются отсчеты во временной области. Все отсчеты  $s$  во временной области будут слегка модифицированы в сравнении с исходными отсчетами  $x$ .

*Оценка подходящего фрейма для ЦВЗ.* Внесение ЦВЗ сопровождается определенными искажениями сигнала-носителя. Эти искажения могут проявляться в большей или меньшей степени в зависимости от близости значения коэффициента корреляции (2) к квантованному значению в каждом канале. В идеальном случае никаких искажений вообще не потребуется. Поэтому подходящий для встраивания фрейм может быть оценен вектором расстояний:

$$d = (\tilde{x}_1 - \tilde{s}_1, \tilde{x}_2 - \tilde{s}_2, \dots, \tilde{x}_K - \tilde{s}_K). \quad (7)$$

Тогда оценка текущего фрейма для встраивания ЦВЗ сводится к следующему правилу: если норма вектора  $\mathbf{d}$  не превышает некоторого порога  $\rho_1$ , т.е.  $\|\mathbf{d}\| \leq \rho_1$ , то встраивание ЦВЗ возможно, в противном случае – отказ от размещения ЦВЗ в текущем фрейме.

Для стабилизации вносимых искажений к уровню громкости звукового сигнала предложено использовать плавающий порог по формуле:

$$\rho_1 = h \Delta \frac{\sigma_{\text{long}}}{\sigma_{\text{frame}}}, \quad (8)$$

где –  $h=0,5 \dots 2$  – коэффициент, задающий интенсивность встраивания ЦВЗ,  $\Delta$  – шаг квантования на числовой решетке,  $\sigma_{\text{long}}, \sigma_{\text{frame}}$  – среднеквадратические отклонения (СКО) звукового сигнала, вычисленные соответственно на длительном (3–5) секунд и коротком – в течение одного фрейма интервалах.

В результате предварительной оценки возможности встраивания ЦВЗ удастся существенно уменьшить вносимые искажения и, соответственно, слуховую восприимчивость ЦВЗ. Передача ЦВЗ при этом происходит в асинхронном режиме.

*Применение кодов, исправляющих ошибки.* Для повышения достоверности декодирования ЦВЗ предложено использовать блочный корректирующий код Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ) [8] с параметрами (63, 30, 6). Код БЧХ(63, 30, 6) имеет общую длину блока  $n = 63$ , число информационных битов  $k = 30$  и максимальное число исправляемых ошибок на блок  $t = 6$ .

В морской подвижной службе (МПС) с использованием цифрового избирательного вызова (ЦИВ) для опознавания судов и береговых станций используется 9-тизначных цифровой идентификатор МПС (ИМПС). В двоичном представлении ИМПС как раз занимает 30 двоичных разрядов. Поэтому для кодирования ИМПС достаточно одного блока кода БЧХ(63, 30, 6).

Известно, что коды БЧХ не принадлежат к классу совершенных кодов, для которых любая произвольная последовательность из  $n$  бит обязательно декодируется в какое-либо разрешенное кодовое слово. При невозможности декодирования БЧХ декодер устанавливает флажок отказа от декодирования. Вероятность такого отказа от декодирования при случайном выборе кодового слова может быть получена из формулы:

$$P_{\text{од}} = \frac{2^n - 2^k (1 + \sum_{i=1}^t C_n^i)}{2^n}, \quad (9)$$

где  $C_n^i = \frac{n!}{i!(n-i)!}$  – биномиальные коэффициенты.

Для кода БЧХ(63, 30, 6) из формулы (9) получим  $P_{\text{од}} = 0,9912$ . Использование информации об отказе от декодирования, как будет показано ниже, снижает вероятность ложного обнаружения ЦВЗ.

*Обнаружение и декодирование ЦВЗ.* Обнаружение ЦВЗ осуществляется путем скользящего анализа принимаемых фреймов длиной  $N$  отсчетов. Существенно при этом, что обнаружение и декодирование ЦВЗ не требует каких-либо начальных маркеров или синхронизирующих импульсов.

Процедура обнаружения ЦВЗ может быть пояснена следующим образом: на каждом фрейме декодер пытается обнаружить и декодировать ЦВЗ. Для этого используются те же решетки  $\Lambda_0, \Lambda_1$  и случайная последовательность  $\mathbf{u}$ , что и при кодировании. Первоначально вычисляется БПФ принятого фрейма  $\mathbf{Y} = \text{БПФ}\{\mathbf{y}\}$ . Далее пошагово аналогично алгоритму кодирования производят следующие вычисления:

1-й шаг: в каждом субканале вычисляют коэффициент корреляции по формуле:

$$\tilde{y}_i = (y_i, u_i) / \|y_i\| \|u_i\|. \quad (10)$$

2-й шаг: вычисляют наименьшее расстояние модуля коэффициента корреляции до узлов объединенных решеток  $\Lambda_{10} = \Lambda_0 \cup \Lambda_1$ :

$$d_i = \min_{\lambda \in \Lambda_{10}} d(|\tilde{y}_i|, \lambda). \quad (11)$$

3-й шаг: определяют норму вектора расстояний  $\|d\|$ , сравнивают ее значение с порогом  $\rho_2$  и выносят решение об обнаружении ЦВЗ:

$$\text{Если } \|d\| \begin{cases} \leq \rho_2 - \text{ЦВЗ обнаружен,} \\ > \rho_2 - \text{ЦВЗ не обнаружен.} \end{cases} \quad (12)$$

4-й шаг: производят оценку обнаруженных данных ЦВЗ по формуле:

$$\hat{m}_i = \arg \min_{\lambda \in \Lambda_m} d(|\tilde{y}_i|, \lambda). \quad (13)$$

5-й шаг: осуществляют декодирование данных ЦВЗ  $\hat{m}$  по стандартной процедуре декодирования кода БЧХ.

Для вынесения решения о наличии / отсутствии ЦВЗ в анализируемом фрейме значение нормы вектора расстояний  $\|d\|$  сравнивается с порогом  $\rho_2$  (рис. 3). Пороговое значение  $\rho_2$  устанавливают из соображений минимизации ошибок второго рода (принятие ложной гипотезы о присутствии ЦВЗ при его фактическом отсутствии). На рис. 3 область ошибок 2-го рода выделена черным. Ошибки первого рода (показаны штриховкой) соответствуют не обнаружению ЦВЗ при его фактическом наличии. При достаточно большом значении  $n$  плотности распределения вероятностей  $P(\|d\|)$  как в случае наличия, так и в случае отсутствия ЦВЗ хорошо аппроксимируются нормальными законами. Полагая, что распределения ошибок  $d_i$  в каждом субканале имеют среднее  $m_H$  и СКО  $\sigma_H$  в ситуациях наличия ( $H = 1$ ) или отсутствия ( $H = 0$ ) ЦВЗ, могут быть получены искомые выражения для среднего и СКО распределений  $P(\|d\|)$ :

$$m_{\|d\|} = \sqrt{n m_H}, \quad \sigma_{\|d\|} = \frac{\sigma_H}{2\sqrt{m_H}}. \quad (14)$$

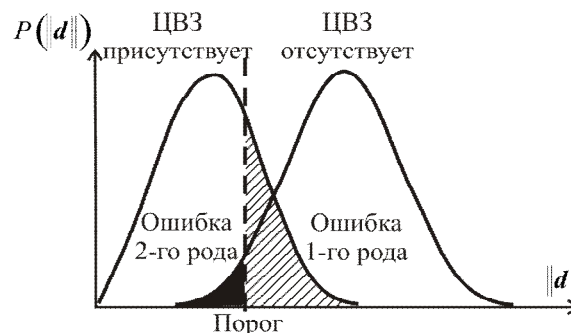


Рисунок 3 – Функции распределения вероятностей нормы вектора расстояний

Из формул (14) следует важный вывод о том, что СКО случайной величины  $\|d\|$  не зависит от  $n$ , в то время как ее среднее значение пропорционально  $\sqrt{n}$ . Поскольку

$m_1 < m_0$ , то при увеличении числа субканалов  $n$  кривые плотностей вероятности на рис. 3 удаляются друг от друга на большее расстояние. При этом их СКО остаются постоянными.

Таким образом, увеличивая  $n$  можно повысить достоверность обнаружения ЦВЗ.

В задаче АИ необходимо минимизировать ошибки 2-го рода, иначе будут получены искаженные данные идентификации о передающем судне. Ошибки 1-го рода, т.е. пропуск ЦВЗ, не являются столь критичными, поскольку идентификатор судна повторяется многократно в процессе радиопередачи. При установке порога обнаружения  $\rho_2 = m_0 - 5\sigma_0$  вероятность ошибки 2-го рода (false-negative) составляет  $P_{FN} \approx 2 \times 10^{-7}$  для параметров  $\Delta = 1$ ,  $n = 63$ .

Декодер БЧХ дополнительно снижает вероятность  $P_{FN}$  за счет отказа от декодирования отсутствующего ЦВЗ с учетом ранее рассчитанной вероятности  $P_{од} = 0,9912$ . Тогда результирующая ошибка 2-го рода составит величину  $P_{ош2} = P_{FN}(1 - P_{од}) \approx 2 \times 10^{-9}$ .

Результаты моделирования. Разработанные проверялись на реальных речевых сигналах при частоте дискретизации  $F_s = 8$  кГц. Результаты компьютерного моделирования относительно влияния шага квантования  $\Delta$  и коэффициента  $h$  из формулы (8) на искажения речевого сигнала представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Зависимость скорости передачи информации и качества сигнала от шага квантования  $\Delta$  и коэффициента  $h$

| Шаг<br>квантования $\Delta$ | Коэффициент $h$ |              |              |              |
|-----------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
|                             | 0,5             | 1            | 2            | 4            |
| 0,25                        | 102 / -49,04    | 136 / -41,36 | 255 / -31,57 | 356 / -25,12 |
| 0,5                         | 102 / -42,16    | 136 / -34,82 | 272 / -24,56 | 365 / -18,87 |
| 1                           | 102 / -36,56    | 144 / -28,5  | 297 / -18,71 | 399 / -12,17 |
| 2                           | 110 / -28,97    | 178 / -20,19 | 322 / -11,85 | 450 / -6,05  |

В табл. 1 представлены пары значений «скорость передачи информации (бит/с)» / «качество (дБ)». Для оценки качества сигнала использовалось отношение  $WSR$  мгновенных мощностей вносимых искажений и сигнала-носителя, рассчитываемое в частотно-временной плоскости спектрограммы ( $N_{SP} \times T_{SP}$ ) по формуле:

$$WSR = 10 \lg \frac{\sum_{j=1}^{T_{SP}} \sum_{i=1}^{N_{SP}} (X_{ij} - S_{ij})^2}{\sum_{j=1}^{T_{SP}} \sum_{i=1}^{N_{SP}} X_{ij}^2}. \quad (15)$$

Скорость информации рассчитывается как средняя скорость передачи информации на протяжении речевого сигнала по формуле:

$$R = \frac{N_{TX} k}{l_{wav} F_s}, \quad (16)$$

где  $N_{TX}$  – число переданных фреймов;  $l_{wav}$  – количество отсчетов в тестируемом сигнале wav-формата;  $k$  – количество информационных бит в одном ЦВЗ.

Спектрограммы были рассчитаны путем применения кратковременного БПФ на интервале 256 отсчетов и сглаживании окном Хэнна. Приемлемым уровнем ухудшения речевого сигнала считается – 20 дБ и менее [9]. Поэтому независимые параметры  $\Delta$  и  $h$  могут быть выбраны из табл. 1 для практической реализации. Остальные параметры алгоритма принимались следующими:  $L = 2$ ,  $N = 512$ ,  $n = 63$ , параметры кода БЧХ  $(n, k, t) = (63, 30, 6)$ .

Помехоустойчивость ЦВЗ оценивалась отношением количества обнаруженных и правильно декодированных блоков ЦВЗ к общему числу переданных блоков. Влияние

различных атак (помех) в канале передаче на помехоустойчивость ЦВЗ отражено в табл. 2, а спецификация атак, использованных для исследования помехоустойчивости в среде Матлаб, приведена в табл. 3.

Таблица 2 – Влияние различных атак на помехоустойчивость ЦВЗ

| Шаг квантования | Сжатие – растяжение | Фильтрация | Аддитивный шум, дБ |      |      | Квантование на $2^q$ уровнях |       |       | Ограничение 50%* | Медленные замирания | Комплексная помеха |
|-----------------|---------------------|------------|--------------------|------|------|------------------------------|-------|-------|------------------|---------------------|--------------------|
|                 |                     |            | -40                | -30  | -20  | $q=8$                        | $q=7$ | $q=6$ |                  |                     |                    |
| 0,125           | 0,76                | 0,13       | 0,23               | 0    | 0    | 0,5                          | 0,27  | 0     | 0,9 / 1          | 0,13                | 0                  |
| 0,25            | 1                   | 0,26       | 0,6                | 0,1  | 0    | 0,63                         | 0,56  | 0,23  | 0,93 / 1         | 0,37                | 0                  |
| 0,5             | 1                   | 0,72       | 0,72               | 0,37 | 0    | 0,84                         | 0,75  | 0,62  | 0,94 / 1         | 0,5                 | 0,03               |
| 1               | 1                   | 0,94       | 0,86               | 0,71 | 0,14 | 1                            | 0,83  | 0,66  | 0,97 / 1         | 1                   | 0,43               |
| 2               | 1                   | 1          | 1                  | 0,74 | 0,37 | 1                            | 0,97  | 0,74  | 1                | 1                   | 0,68               |

\* Для значений коэффициента  $h = 2 / 0,5$  соответственно

Таблица 3 – Спецификация атак на композитный сигнал

| №    | Вид атаки                             | Характеристика атаки (помехи) на композитный сигнал                                                                                                                                               | Процедура МЛ                               | Влияние на ЦВЗ |
|------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
| (1)  | Преобразование цифра – аналог – цифра | Композитный сигнал, первоначально с частотой дискретизации $F_s = 8$ кГц, интерполировался с частотой 32 кГц, смещался на 1, 2 или 3 отсчета и затем прореживался с частотой дискретизации 8 кГц. | <b>interp(s,4)</b>                         | Не влияет      |
| (2)  | Смещение по времени                   | Смещение на произвольный временной интервал, кратный $(4F_s)^{-1}$                                                                                                                                | <b>interp(s,4)</b>                         | Не влияет      |
| (3)  | Компандирование (сжатие-растяжение)   | Сжатие – растяжение по амплитуде в соответствии с $\mu$ -законом                                                                                                                                  | <b>lin2mu(s), mu2lin(y)</b>                | См. табл. 2    |
| (4)  | Фильтрация                            | Прохождение через полосовой фильтр Баттерворта 2-го порядка с частотами среза 400 Гц и 2 кГц. АЧХ такого фильтра близка к АЧХ реального УКВ радиоканала.                                          | <b>butter(1,[.1 0.5], filter(bb,aa,s))</b> | См. табл. 2    |
| (5)  | Аддитивный шум                        | Воздействие нормального белого шума при отношении сигнал/шум, измеренным для всего тестового сигнала                                                                                              | <b>awgn(s,SNR, 'measured')</b>             | См. табл. 2    |
| (6)  | Квантование по уровню                 | Квантование на $Q$ уровней                                                                                                                                                                        | <b>1/Q*round(s*Q)</b>                      | См. табл. 2    |
| (7)  | Ограничение амплитуды (клиппирование) | Ограничение амплитуды на уровне 50% с насыщением от максимального значения мгновенной амплитуды                                                                                                   |                                            | См. табл. 2    |
| (8)  | Медленные замирания                   | Амплитудная модуляция гармоническим сигналом частотой 3 Гц и глубиной модуляции 0,5                                                                                                               |                                            | См. табл. 2    |
| (9)  | Комплексная помеха                    | Одновременное воздействие трех помех: (4) + (5) на уровне -30 дБ + (8)                                                                                                                            |                                            | См. табл. 2    |
| (10) | MP3 сжатие                            | Преобразование сигнала в wav формате и битрейтом 64 кбит/с MP3 формат с битрейтом 9,6 кбит/с и обратное преобразование в первоначальный формат                                                    |                                            | Не влияет      |

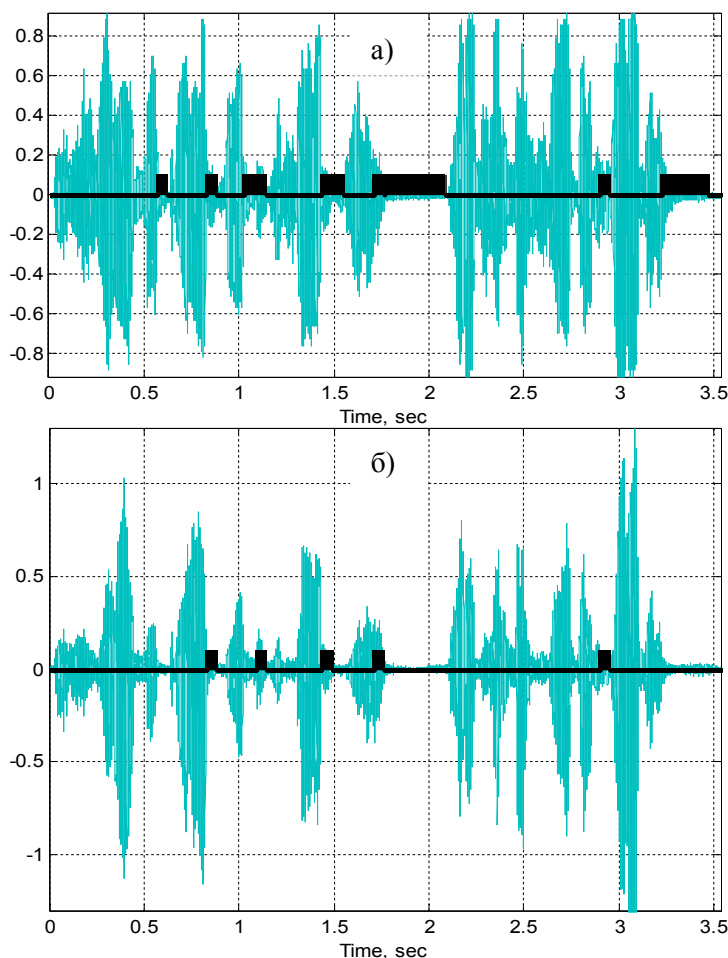


Рисунок 4 – Композитний речевий сигнал і відмітки положень встроєних і виявлених ЦВЗ (виділені чорним): а) до впливу завади; б) після впливу комплексної завади (9)

Сигналограмми, ілюструючі статистичний характер встраювання ЦВЗ, показані на рис. 4. Чорними метками показані позиції встраювання ЦВЗ (рис. 4 а) і позиції виявлених ЦВЗ (рис. 4 б) після впливу комплексної завади (9). В прийнятому сигналі після впливу комплексної завади не всі ЦВЗ були виявлені і декодовані, т.е. мали місце помилки 1-го роду. Однак, для автоматичної ідентифікації можливі пропуски ЦВЗ на приймній стороні не є критичними, оскільки ЦВЗ має один і той же склад у вигляді ідентифікатора судна і повторюється багаторазово впродовж всієї радіопередачі. В той же час помилок 2-го роду, т.е. ложних виявлень зафіксовано не було.

Відмінною рисою розташування ЦВЗ є те, що вони розташовані в паузах речевого сигналу (часові інтервали 1,8 – 2,1 секунди і 3,2 – 3,5 секунди), а також в позиціях невокалізованих (шумоподібних) фонем – інші ЦВЗ на рис. 4.

**Висновки.** Обґрунтована технічна можливість передачі додаткової інформації в складі речевого сигналу без розширення вимог до частотної, часової передачі і змін сапої радіопередаючої апаратури. При цьому розроблений метод може використовуватися як в аналогових каналах морської радіотелефонії наземної служби, так і в цифрових супутникових каналах.

Слухова невосприимчивість додаткової інформації досягається за рахунок застосування спеціального алгоритму встраювання інформації, який не змінює потужності складного сигналу в вузькій частотній смузі. Встраювання ЦВЗ здійснюється тільки на тих часових інтервалах, які потребують найменших

искажений сигнала. Помехоустойчивость дополнительной информации обеспечивается применением кода, исправляющего ошибки. Разработанный алгоритм обнаружения встроенной информации не требует передачи каких-либо маркеров для кадровой и символьной синхронизации.

Применение метода передачи дополнительной информации целесообразно в аналоговых каналах морской радиотелефонии для решения задачи автоматической идентификации. Аналогичное применение данный метод может найти в УКВ радиосвязи систем управления полетами гражданской авиации.

В цифровых спутниковых каналах данный метод может использоваться для передачи текстового сопровождения голосовых сообщений и применения в специальных приложениях, например, при скрытной передаче информации при террористических угрозах.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошевий В. М. Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування (GMDSS) : Підручник для студентів вищих навчальних закладів / В. М. Кошевий, В. І. Купровський, О. В. Шишкін. – Одеса : Екологія, 2011. – 248 с.
2. Proposals to Amend the Performance Standards for Shipborne VHF Radiotelephone Facilities. COMSAR 14/7/5, Submitted by the Republic of Korea, December 2009.
3. K. Hofbauer, G. Kubin, W. Kleijn «Speech Watermarking for Analog Flat-Fading Bandpass Channels», IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, November 2008, Vol. 17, No. 8, pp. 1624 – 1637.
4. Шишкін А. В. Идентификация радиотелефонных передач в УКВ диапазоне морской радиосвязи // Известия вузов – Радиоэлектроника. – Т. 55, № 11 – 2012. – С. 11-20.
5. Конахович Г. Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г. Ф. Конахович, А. Ю. Пузыренко. – К. : МК-Пресс, 2006. – 288 с.
6. Cox I.J., et al. Digital watermarking and steganography. Second Edition – Morgan Kaufmann Publishers, 2008. – 594 p.
7. Шишкін О. В. Прихована цифрова модуляція звукових сигналів / О. В. Шишкін // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2014. – № 58. – С. 129-138.
8. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение: пер. с англ. / Р. Морелос-Сарагоса. – М. : Техносфера, 2005. – 320 с.
9. ITU-T Recommendation P.862: Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), International Telecommunication Union, 02/2001.

## REFERENCES

1. Kosheviy V. M. Globalniy morskiy zv'yazok dlya poshuku ta ryatuvannya (GMDSS) : Pidruchnik dlya studentiv vitykh navchalnykh zakladiv / V. M. Kosheviy, V. I. Kuprovskiy, O. V. Shishkin. – Odesa : Ekologiya, 2011. – 248 s.
2. Proposals to Amend the Performance Standards for Shipborne VHF Radiotelephone Facilities. COMSAR 14/7/5, Submitted by the Republic of Korea, December 2009.
3. K. Hofbauer, G. Kubin, W. Kleijn «Speech Watermarking for Analog Flat-Fading Bandpass Channels», IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, November 2008, Vol. 17, No. 8, pp. 1624 – 1637.
4. Shishkin A. V. Identifikaciya radiotelefonnykh peredach v UKV diapazone morskoy radiosvyazi // Izvestiya vuzov – Radioelektronika. – T. 55, № 11 – 2012. – S. 11-20.
5. Konakhovich G. F. Komp'yuternaya steganografiya. Teoriya i praktika / G. F. Konakhovich, A. Yu. Puzihrenko. – K. : MK-Press, 2006. – 288 s. Cox I.J., et al. Digital

watermarking and steganography. Second Edition – Morgan Kaufmann Publishers, 2008. – 594 p.

6. Shishkin O. V. Prikhovana cifrova modulyaciya zvukovikh signaliv / O. V. Shishkin // Visnik NTUU «KPI». Seriya Radiotekhnika. Radioaparatabuduvannya. – 2014. – № 58. – S. 129-138.

7. Morelos-Saragosa R. Iskustvo pomekhoustoychivogo kodirovaniya. Metodih, algoritmi, primenenie: per. s angl. / R. Morelos-Saragosa. – M. : Tekhnosfera, 2005. – 320 s.

8. ITU-T Recommendation P.862: Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), International Telecommunication Union, 02/2001.

**Шишкін О.В. СТАТИСТИЧНЕ МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ ДОДАТКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ В КАНАЛАХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ГМЗЛБ**

*Розроблені алгоритми вбудовування додаткової цифрової інформації безпосередньо в звуковий сигнал за технологією цифрових водяних знаків (ЦВЗ). Рішення про передачу ЦВЗ приймається у рамках компромісної завдання кількості інформації – слухова несприйнятність – завадостійкість на основі оцінки норми спотворень, що вносяться у вузькосмугових субканалах і порівняння її з пороговим значенням. Завадостійкість ЦВЗ забезпечується передачею кожного біта інформації, що вбудований у вузькосмуговому частотному субканалі та із застосуванням завадостійкого кодування. Виявлення ЦВЗ побудоване на оцінці норми вектору спотворень з подальшим декодуванням. Розроблені алгоритми дозволяють отримати середню швидкість передачі інформації в асинхронному режимі в діапазоні 100–350 біт/с при спотвореннях, що не перевищують – 20 дБ, в умовах дії типових перешкод в каналі радіозв'язку. Алгоритми можуть бути застосовні як в аналогових, так і у цифрових супутникових каналах морської рухомої служби, а також в УКХ радіозв'язку систем управління польотами цивільної авіації.*

*Ключові слова: радіозв'язок, аналогові і цифрові канали, цифрові водяні знаки, автоматична ідентифікація, супутникові канали, глобальна морська система зв'язку у разі лиха, коди що виправляють помилки, коефіцієнт кореляції*

**Shishkin A.V. STATISTICAL MULTIPLEXING OF ADDITIONAL INFORMATION IN THE GMDSS RADIOCOMMUNICATION CHANNELS**

*The algorithms of additional digital information embedding directly in audio signal on digital watermarking (DWM) technology are elaborated. The decision on DWM is approved in the frame of compromising task information quantity – audio imperceptibility – robustness on the base of estimation of the introduced distortion norm in narrowband sub channels and comparing it to threshold value. DWM robustness is provided by transmitting the every bit of embedded information within narrowband channel and applying error correcting coding. Detection of DWM is constructed on the estimation of distortion vector norm and subsequent decoding. The designed algorithms allows getting information transmission rate within (100 – 350) bps under distortions not exceeding – 20 dB in the conditions of standard interferences influence in the radio communication channel. The algorithms are applicable both in analog as well as digital satellite channels of maritime mobile service, and also in the VHF radio communication of civil aviation traffic control systems.*

*Keywords: radio communication, analog and digital channels, digital watermarking, automatic identification, satellite channels, global maritime distress and safety system, error correction codes, coefficient of correlation.*

© Шишкін О.В.

Статтю прийнято  
до редакції 1.04.15

***ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ***

## ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ

**Волошинов С.А., Сокол І.В., Тригуб С.М.**

*Херсонська державна морська академія*

*У статті проведений аналіз поняття «результати навчання»; розглядаються та пояснюються форми формативного і сумативного оцінювання; як частини навчального процесу, наводяться види формативного та сумативного оцінювання; наводиться поняття безперервного оцінювання; розглянуті засоби оцінювання результатів навчання, запропонований принцип побудови оціночної таблиці, яка поєднує в собі види формативного і сумативного оцінювання під час вивчення модуля «Морехідна астрономія» у процесі підготовки судноводіїв.*

**Ключові слова:** компетентності, результати навчання, оцінювання, оціночна таблиця, морехідна астрономія.

**Постановка проблеми.** У кожного викладача виникає питання як оцінити навчальні досягнення студентів, наскільки достовірно він оцінив студента під час навчання. Наскільки якісно визначені критерії оцінювання за якими проводиться усне опитування чи виконання письмової або будь-якої іншої роботи виконаної студентом.

Як показують власні дослідження, студентам також не зрозуміло як і за що їх оцінюють. Чому за майже однакові дві роботи студенти отримують різні оцінки. Доводи, які наводить викладач, аргументуючи більш високу оцінку на користь того чи іншого студента, їм не здаються переконливими. Такі ситуації зменшують мотивацію студента до навчання [1].

Виходячи з викладеного виникає потреба у розробці такої системи оцінювання роботи студентів, яка була б зрозуміла для них і виключала можливість суб'єктивної оцінки викладачами студентів.

**Мета статті** розробити процедури оцінювання роботи студентів на прикладі навчальної дисципліни «Морехідна астрономія».

**До завдань** дослідження ввійшли:

1. Визначити поняття «результати навчання».
2. Дослідити зв'язок результатів навчання, викладання й оцінювання.
3. Створити процедуру оцінювання для навчальної дисципліни «Морехідна астрономія».
4. Дослідити результати впровадження створеної процедури оцінювання студентів.

**Аналіз публікацій.** Аналіз літератури з проблеми оцінювання результатів навчання в контексті компетентнісного підходу, вимірювання результатів освіти показав, що це питання досить ґрунтовно досліджене здебільшого іноземними педагогами та психологами, серед яких можна зазначити наступних: Адам С. (Великобританія), Роджерс Г. (США), Воган Д. (Велика Британія), Уолш А., Вебб М. (Кінгстонський університет, Велика Британія), Біггс Дж. (Університет Квінсленда, Австралія), Звонников В. І. (Росія). Проте, незважаючи на вагомий здобуток досліджень вони носять, здебільшого, теоретичний характер і не надають практичних порад щодо здійснення оцінювання студентів судноводіїв в умовах компетентнісного підходу.

**Виклад основного матеріалу.** Одна з вимог Болонського процесу – всі програми навчальних закладів третичного рівня на всьому Європейському просторі вищої освіти повинні бути переписані в термінах результатів навчання. Результати навчання дозволяють визначити, що повинно бути досягнуто студентом і яким чином вони можуть підтвердити ці досягнення [2].

Таким чином, результати навчання слід так визначати, щоб їх можна було оцінити. Цілком очевидно, що необхідні інструменти або методи оцінювання, які дозволяють визначити рівень досягнень встановлених результатів навчання.

Для початку, з'ясуємо поняття «результати навчання». Існує багато визначень поняття «результати навчання» наведемо декілька:

- *результати навчання* – це формулювання того, що, як очікується, зможе робити студент у результаті навчальної діяльності [3].

- *результати навчання* – це описання того, що студент повинен знати, розуміти та буде у змозі продемонструвати після успішного завершення процесу навчання [4].

- *результати навчання* описують, що студенти можуть продемонструвати з точки зору знань, навичок і настанов після завершення програми [5].

Як бачимо, в наведених визначеннях поняття «результати навчання» істотної різниці немає, також із означених понять можна визначити наступне:

- результати навчання фокусуються на досягненнях студентів, а не на викладача;
- результати навчання фокусуються на тому, що може продемонструвати студент у кінці навчальної діяльності [2].

Таким чином, навчання засноване на результатах навчання, за пріоритет визначає вміння студентів виконувати ту чи іншу роботу по завершенню програми підготовки. Тобто, і систему оцінювання навчальних досягнень студентів необхідно будувати на оцінюванні результатів навчання.

Під процесом *оцінювання навчання* пропонуємо розуміти збір і оцінку даних, які отримані в результаті спланованої навчальної діяльності. *Оцінювання отриманих знань та умінь* представляє собою особливу форму оцінювання навчання, яку здійснює викладач, і яка служить кільком зв'язаним цілям, які включають в себе:

- 1) мотивація та спрямованість навчання;
- 2) наявність зворотного зв'язку студентів про їх успіхи;
- 3) дотримання темпів процесу навчання [6].

Оцінювання навчальних досягнень студентів краще всього проводити у формі двосторонньої комунікації, в якій відомості про навчальний процес і його результати можуть бути отримані зацікавленими сторонами (студентом, викладачем, адміністрацією навчального закладу) [7].

Оцінювання часто описується в термінах формативного або сумативного оцінювання.

**Формативне оцінювання** – це оцінювання яке створено задля допомоги навчальному процесу, шляхом забезпечення студента інформацією, яка може бути використана для визначення сильних і слабких місць, тобто для покращення показників у майбутньому [6]. Іншими словами, формативне оцінювання є джерелом інформації про успішність засвоєння результатів навчання як для викладачів, так і для самих студентів. Формативне оцінювання, як правило, проводиться на початку або в ході реалізації програми. Результати виконання студентами оціночних завдань допоможуть викладачу в прийнятті рішень відносно характеру подальшого навчання.

У навчанні можуть застосовуватися такі види формативного оцінювання:

- тестування знань або умінь;
- усні презентації;
- звіти з лабораторних або практичних робіт;
- аналіз текстів чи даних;
- оволодіння навичками і вміннями при спостереженні, наприклад, за роботою на робочому місці, в лабораторії;
- звіти про стажування на робочому місці або щоденники практики;
- зразки професійних робіт (портфоліо);
- письмові есе або звіти.

Основні характеристики формативного оцінювання включають:

- виявлення викладачами та студентами результатів навчання і критеріїв їх досягнення;
- ефективне і своєчасне забезпечення чіткого та вичерпного зворотного зв'язку;
- активна участь студентів у своєму власному навчанні;
- дружня комунікація між викладачем і студентом;
- відгук викладача на потреби студентів.

Таким чином формативне оцінювання – це частина навчального процесу, а не процес виставляння оцінок [2].

**Сумативне оцінювання** – це оцінювання, яке підбиває підсумки навчальної діяльності студента в певний момент часу, зазвичай у кінці модуля або програми [2]. Сумативне оцінювання можна описати, як оцінювання по закінченні курсу, яке дозволяє визначити рівень досягнень студента, що підсумовує певний етап навчання.

Таким чином, використання сумативного оцінювання дозволяє виставити оцінку, яка буде відображати роботу студента. На жаль, сумативне оцінювання найчастіше обмежується традиційними екзаменами і не охоплює інші області, такі, наприклад, як проектна робота, портфоліо або есе. В силу природи сумативного оцінювання не всі результати навчання можна оцінити в будь-який момент часу. Загальноприйнятим є оцінювання вибірки результатів навчання [2].

Види сумативного оцінювання:

- підсумкове оцінювання;
- есе;
- питання з множинним вибором.
- вирішення завдань;
- аналіз прикладів, даних, текстів;
- усні екзамени можуть мати різні формати, наприклад: усне опитування (як правило більше ніж одним викладачем) або демонстрація практичного вміння або сукупності умінь.

**Безперервне оцінювання** – це поєднання сумативного та формативного оцінювання. Проте, в реальності безперервне оцінювання часто зводиться до циклічного сумативного оцінювання з фіксуванням оцінок, але практично без зворотного зв'язку з студентами [2].

Дуже важливо, щоб метод оцінювання, який використовується, дозволяв перевірити, досягнуті чи ні встановлені результати навчання.

Встановлення зв'язків між результатами навчання, стратегіями викладання, навчальною діяльністю студентів та оціночними завданнями – дуже складне завдання. Для її вирішення може виникнути необхідність у використанні декількох методів одночасно.

Навчальна програма повинна бути спроектована таким чином, щоб освітня діяльність викладача та навчальна діяльність студента, а також оціночні завдання координувалися з результатами навчання. У добрій системі навчання метод викладання, навчальна діяльність і метод оцінювання скоординовані таким чином, що забезпечують підтримку навчання студентів [8].

Як видно з вище викладеного, існують декілька основних завдань, пов'язаних з конструктивною узгодженістю будь-якої програми [2]:

- чітке визначення результатів навчання;
- вибір методів викладання та навчання, що забезпечують досягнення встановлених результатів навчання;
- оцінка результатів навчання студентів і перевірка того, якою мірою вони збігаються з тим, що було заплановано;
- організація та забезпечення заходів із підвищення якості освіти.

Результати навчання задають мінімальний прийнятний стандарт, який дозволяє студенту успішно завершити програму. Успішність студентів вище цього порогового рівня диференціюється за допомогою оціночних критеріїв. Оціночні критерії визначають, яким вимогам повинен відповідати студент для отримання більш високої оцінки. Ці визначення допомагають диференціювати рівні успішності студента. Зрозумілі для студентів критерії виставлення оцінок дозволяють сподіватися, що студенти будуть прагнути до більш високого рівня успішності [2].

Просте виставлення оцінки студенту не дає адекватної інформації про його роботу, оскільки оцінка лише вказує на загальний рівень знань. Такий загальний бал не дозволяє встановити сильні і слабкі сторони конкретних результатів навчання. Однак, якщо оціночна система прив'язана до визнаних принципів виставлення балів – це може суттєво допомогти виявленню областей, де необхідні поліпшення [2].

Принцип виставлення балів, що був використаний при оцінюванні, називають оціночною таблицею. Оціночна таблиця – це оціночний інструмент, описання критеріїв виставлення оцінок за роботу студентів. У загальних рисах, кожна оціночна таблиця складається з набору критеріїв і позначок або балів пов'язаних з цими критеріями. Таким чином, оцінна таблиця допомагає встановити критерії системи оцінювання, описуючи рівень виконання в різних точках шкали оцінок.

Розглянемо приклад оціночної таблиці (табл. 1), яка враховує, як формативне так і сумативне оцінювання для програми «Морехідна астрономія», яка у відповідності до міжнародної морської конвенції ПДНВ 78 з Манільськими поправками 2010 року [9] формує професійні навички «Уміння використовувати небесні тіла для визначення місцезнаходження судна» компетентності «Планування і проведення переходу та визначення місцезнаходження судна».

Таблиця 1 – Оціночна таблиця програми підготовки модуля «Морехідна астрономія»

| № з/п              | Група<br>П.І.Б. студентів | Змістовні модулі                                  |                              |                              |                                |                   |                               |                                                 |                                |                               |                                |               |                   |                                                       |                               |                               |                               |                               |                                | Рейтинговий бал |                   | Екзамен                  |                   |            |                                       |      |        |
|--------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------|-------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|-------------------|------------|---------------------------------------|------|--------|
|                    |                           | Небесна сфера. Небесні сферичні координати світил |                              |                              |                                |                   |                               | Астрономічні методи визначення поправки компаса |                                |                               |                                |               |                   | Визначення місця судна в морі астрономічними методами |                               |                               |                               |                               |                                |                 |                   | підсумковий on line test | проектне завдання | співбесіда | Підсумкова оцінка за формуючий модуль |      |        |
|                    |                           | on line test                                      | домашня самостійна робота №1 | домашня самостійна робота №2 | самостійна аудиторна робота №1 | підсумкова оцінка | домашня самостійна робота №16 | домашня самостійна робота №17                   | самостійна аудиторна робота №4 | домашня самостійна робота №18 | самостійна аудиторна робота №5 | спостереження | підсумкова оцінка | on line test                                          | домашня самостійна робота №21 | домашня самостійна робота №22 | домашня самостійна робота №23 | домашня самостійна робота №24 | самостійна аудиторна робота №8 | спостереження   | підсумкова оцінка |                          |                   |            |                                       |      |        |
|                    |                           |                                                   |                              |                              |                                |                   |                               |                                                 |                                |                               |                                |               |                   |                                                       |                               |                               |                               |                               |                                |                 |                   |                          |                   |            |                                       | бал  | оцінка |
| ваговий коефіцієнт |                           | 0,3                                               | 0,2                          | 0,2                          | 0,3                            | 1                 | 0,1                           | 0,1                                             | 0,2                            | 0,1                           | 0,2                            | 0,3           | 1                 | 0,15                                                  | 0,1                           | 0,1                           | 0,1                           | 0,1                           | 0,2                            | 0,25            | 1                 |                          | 0,4               | 0,2        | 0,25                                  | 0,15 | 1      |
| 1                  |                           | 5                                                 | 5                            | 5                            | 5                              | 5                 | 5                             | 5                                               | 5                              | 5                             | 5                              | 5             | 5                 | 5                                                     | 5                             | 5                             | 5                             | 5                             | 5                              | 5               | 5                 | 15,00                    | 5                 | 4          | 5                                     | 5    | 5      |
| 2                  |                           | 4                                                 | 5                            | 5                            | 5                              | 4                 | 5                             | 5                                               | 5                              | 5                             | 5                              | 5             | 5                 | 5                                                     | 5                             | 5                             | 5                             | 5                             | 5                              | 5               | 5                 | 14,70                    | 5                 | 4          | 5                                     | 5    | 5      |
| 3                  |                           | 4                                                 | 4                            | 5                            | 5                              | 4                 | 5                             | 5                                               | 5                              | 4                             | 5                              | 5             | 5                 | 5                                                     | 5                             | 5                             | 5                             | 5                             | 5                              | 4               | 4                 | 14,15                    | 4                 | 4          | 4                                     | 5    | 4      |
| 4                  |                           | 4                                                 | 4                            | 4                            | 4                              | 4                 | 4                             | 5                                               | 3                              | 5                             | 5                              | 5             | 4                 | 5                                                     | 5                             | 4                             | 4                             | 5                             | 5                              | 5               | 5                 | 13,30                    | 4                 | 4          | 4                                     | 5    | 4      |
| 5                  |                           | 4                                                 | 4                            | 4                            | 5                              | 4                 | 4                             | 4                                               | 4                              | 5                             | 5                              | 5             | 4                 | 5                                                     | 4                             | 4                             | 4                             | 4                             | 4                              | 4               | 4                 | 13,05                    | 4                 | 4          | 4                                     | 5    | 4      |
| ...                |                           |                                                   |                              |                              |                                |                   |                               |                                                 |                                |                               |                                |               |                   |                                                       |                               |                               |                               |                               |                                |                 |                   |                          |                   |            |                                       |      |        |
| 23                 |                           | 4                                                 | 3                            | 3                            | 3                              | 3                 | 3                             | 3                                               | 3                              | 3                             | 4                              | 3             | 3                 | 4                                                     | 4                             | 3                             | 3                             | 3                             | 3                              | 3               | 3                 | 9,75                     | 3                 | 3          | 5                                     | 3    | 3      |
| 24                 |                           | 4                                                 | 3                            | 3                            | 3                              | 3                 | 3                             | 3                                               | 3                              | 3                             | 4                              | 3             | 3                 | 4                                                     | 3                             | 3                             | 3                             | 3                             | 3                              | 3               | 3                 | 9,65                     | 3                 | 3          | 3                                     | 3    | 2      |
| 25                 |                           | 3                                                 | 3                            | 3                            | 3                              | 2                 | 3                             | 3                                               | 3                              | 3                             | 3                              | 3             | 2                 | 3                                                     | 3                             | 3                             | 3                             | 3                             | 3                              | 3               | 2                 | 9,00                     | 2                 |            |                                       |      | 2      |

Оціночна таблиця розміщується на сайті навчального закладу і студент, викладач, адміністрація навчального закладу в будь-який час може дізнатися про навчальні досягнення будь-якого студента. Таблиця розміщується з повністю вказаними видами робіт з усіх змістовних модулів і заповнюється оцінками по мірі виконання робіт студентами. Таким чином, оціночна таблиця з першого дня вивчення програми надає можливість студентам бачити весь обсяг робіт, які необхідно виконати для отримання зарахування виконання програми дисципліни.

Завершальним етапом в оціночній таблиці представлена робота, яку необхідно зробити студенту для зарахування виконання програми дисципліни в цілому.

У даному випадку викладачу необхідно оцінити рівень навчальних досягнень студента після певного етапу підготовки. Проводиться це може за правилами сумативного оцінювання. Оцінка за іспит враховує всі види знань, які повинен засвоїти студент: теоретичні, практичні, а також рейтинговий бал, який враховує роботу студента протягом семестру. Теоретичні знання запропоновано перевіряти за допомогою підсумкового контролюючого завдання, який студент виконує у присутності викладача.

Практичні знання перевіряються за допомогою проектного завдання. І обов'язково повинна бути співбесіда з викладачем, щоб з'ясувати глибину знань студентів та рівень мислення, причому бажано щоб співбесіда відбувалася з викладачем, який не викладав у даній групі.

Кожному критерію, який впливає на підсумкову оцінку програми підготовки «Морехідна астрономія», також встановлено вагові коефіцієнти, сума яких дорівнює одиниці. На наш погляд, рейтинговий бал повинен значно впливати на остаточну оцінку програми дисципліни. У наведеному прикладі доля рейтингового балу становить 40%.

Таким чином, для отримання оцінки з програми підготовки враховуються такі критерії:

- рейтинговий бал із ваговим коефіцієнтом (0,4);
- підсумковий on line тест із ваговим коефіцієнтом (0,2);
- виконання проектного завдання із ваговим коефіцієнтом (0,25);
- співбесіда з викладачем із ваговим коефіцієнтом (0,15).

Ваговий коефіцієнт для кожного виду роботи викладач визначає самостійно. Але слід мати на увазі, що компетентнісний підхід у навчанні, перш за все, заснований на діяльнісній основі та вимагає від студентів демонстрації не тільки знань і умінь, але й творчої, креативної роботи, вміння створювати власні алгоритми майбутніх професійних дій. Тому вагові коефіцієнти для творчих завдань пропонуємо робити більшими. Для оцінювання окремих видів роботи студента ми розробили оціночний лист (табл. 2).

У оціночному листі зазначено, які знання та вміння повинен продемонструвати студент. Також кожному елементу виду роботи студента встановлюється ваговий коефіцієнт таким чином, щоб сума вагомих коефіцієнтів всіх елементів дорівнювала одиниці. Якщо студент демонструє вміння то йому виставляється один бал, якщо ні – нуль. Сумуючи бали, з урахуванням вагомих коефіцієнтів, визначається оцінка за даний вид роботи. Якщо студент набирає 60 % від максимально можливого для даного виду роботи, він отримує оцінку «задовільно», якщо 75 % – «добре», 90 % – «відмінно».

Таблиця 2 – Приклад оціночного листа

| Таблиця 2. Приклад оцінки поведінки |       |                                                                                      |                         |       |                                      |                                        |                                                |                                                       |                                                     |                                     |                          |                   |                            |        |
|-------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------------------------|--------|
| № з/п                               | група | Демонструвати вміння поводження із сексаном (демонструє вміння 1; не демонструє – 0) |                         |       |                                      |                                        |                                                |                                                       |                                                     |                                     |                          |                   |                            | оцінка |
|                                     |       | вигянути з коробки                                                                   | встановити зорову трубу |       | тримати секстан                      |                                        | вивіряти секстан                               |                                                       |                                                     | визначати поправку індексу секстана |                          | вимірювання кутів |                            |        |
|                                     |       |                                                                                      | денну                   | нічну | для спостереження вертикальних кутів | для спостереження горизонтальних кутів | паралельність оптичної осі труби площині лімба | перпендикулярність великого дзеркала до площини лімба | перпендикулярність малого дзеркала до площини лімба | за видимим горизонтом               | за Сонцем (з перевіркою) | висоти Сонця      | між береговими орієнтирами |        |
| ваговий коефіцієнт                  |       | 0,1                                                                                  | 0,05                    | 0,05  | 0,05                                 | 0,05                                   | 0,1                                            | 0,1                                                   | 0,1                                                 | 0,1                                 | 0,1                      | 0,1               | 0,1                        | 1      |
| 1                                   |       | 1                                                                                    | 1                       | 1     | 1                                    | 1                                      | 1                                              | 1                                                     | 1                                                   | 1                                   | 1                        | 1                 | 1                          | 5      |
| 2                                   |       | 1                                                                                    | 1                       | 1     | 1                                    | 1                                      | 1                                              | 1                                                     | 1                                                   | 1                                   | 1                        | 1                 | 1                          | 5      |
| 3                                   |       | 1                                                                                    | 1                       | 1     | 0                                    | 1                                      | 1                                              | 0                                                     | 1                                                   | 0                                   | 1                        | 0                 | 1                          | 3      |
| ...                                 |       |                                                                                      |                         |       |                                      |                                        |                                                |                                                       |                                                     |                                     |                          |                   |                            |        |
| 24                                  |       | 1                                                                                    | 1                       | 1     | 0                                    | 1                                      | 1                                              | 1                                                     | 1                                                   | 0                                   | 0                        | 1                 | 1                          | 3      |
| 25                                  |       | 1                                                                                    | 1                       | 1     | 0                                    | 0                                      | 0                                              | 0                                                     | 1                                                   | 0                                   | 0                        | 1                 | 1                          | 2      |

**Висновок.** Нам ще належить розробити процедури оцінювання з різних видів робіт та процедур оцінювання якості освіти у відповідності до компетентнісного підходу, які повинні інтегруватися в більш широкі рамки управління якістю у всьому навчальному закладі.

Якість все більше розглядається як ключовий фактор в просуванні вперед. Згідно нової редакції Закону України «Про вищу освіту» в Україні протягом наступного року буде створено Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти та ми до цього часу повинні бути готові продемонструвати свою систему забезпечення якості підготовки морських фахівців, яка буде апробована і буде працювати.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Звонников В. И. Оценка качества результатов обучения при аттестации (компетентностный подход) : учеб. пособие / В. И. Звонников, М. Б. Чешшкова. – Изд. 2-е, перераб. доп. – М. : Логос, 2012. – 280с.
2. Кеннеди Д., Хайленд Э., Райан Н. Написание и применение результатов обучения: практическое руководство. Реализация Болонского процесса в вашем вузе. Использование результатов обучения и компетенций // Болонский процесс : Результаты обучения и компетентностный подход (книга-приложение 1) / под науч. ред. д-ра пед. наук, профессора В. И. Байденко. – М. : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2009. – 536 с.
3. Jenkins, A. & Unwin, D. (2001) How to write learning outcomes. Available online: <http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/giscc/units/format/outcomes.html>
4. Руководство по использованию ECTS. Точка доступа – [http://euis.mgsu.ru/universityabout/UMO-ASV/dokumenty/intredok/ECTS\\_RUS.pdf](http://euis.mgsu.ru/universityabout/UMO-ASV/dokumenty/intredok/ECTS_RUS.pdf)
5. Комітет з вдосконалення якості Техаського університету. Точка доступу – [http://qep.tamu.edu/documents/writing\\_outcomes.pdf](http://qep.tamu.edu/documents/writing_outcomes.pdf)
6. Крейг Л. Сканлан. Оценивание, определение качества, тестирование и выставление оценок. Точка доступа – [http://www.urau.donetsk.ua/~masters/2013/fknt/sedakov/library/assessment\\_evaluation\\_testing\\_and\\_grading.htm](http://www.urau.donetsk.ua/~masters/2013/fknt/sedakov/library/assessment_evaluation_testing_and_grading.htm)

7. McAlpine, M. (2002). Principles of assessment. Glasgow: University of Glasgow, Robert Clark Center for Technological Education. Available at: <http://www.caacentre.ac.uk/dldocs/Bluepaper1.pdf>

8. Biggs J. (2003) Teaching for Quality Learning at University. Buckingham: Open University Press.

9. Міжнародна морська конвенція ПДНВ 78/95 з Манільськими поправками 2010 р.

## REFERENCES

1. Zvonnikov V. I. Ocenka kachestva rezul'tatov obucheniya pri attestacii (kompetentnostniy podkhod) : ucheb. posobie / V. I. Zvonnikov, M. B. Cheihshkova. – Izd. 2-e, pererab. dop. – M. : Logos, 2012. – 280s.

2. Kennedi D., Khayjlend Eh., Rayjan N. Napisanie i primenenie rezul'tatov obucheniya: prakticheskoe rukovodstvo. Realizaciya Bolonskogo processa v vashem vuze. Ispol'zovanie rezul'tatov obucheniya i kompetencyj // Bolonskiy process : Rezul'tatib obucheniya i kompetentnostniy podkhod (kniga-prilozhenie 1) / pod nauch. red. d-ra ped. nauk, professora V. I. Baydenko. – M. : Issledovatel'skiy centr problem kachestva podgotovki specialistov, 2009. – 536 s. Jenkins, A. & Unwin, D. (2001) How to write learning outcomes.

Available online: <http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/giscc/units/format/outcomes.html>

3. Rukovodstvo po ispol'zovaniyu ECTS. Tochka dostupa – [http://euis.mgsu.ru/universityabout/UMO-ASV/dokumenty/intretdok/ECTS\\_RUS.pdf](http://euis.mgsu.ru/universityabout/UMO-ASV/dokumenty/intretdok/ECTS_RUS.pdf)

4. Komitet z vdoskonalennya yakosti Tekhasjkogo universitetu. Tochka dostupu – [http://qep.tamu.edu/documents/writing\\_outcomes.pdf](http://qep.tamu.edu/documents/writing_outcomes.pdf)

5. Kreyjg L. Skanlan. Ocenivanie, opredelenie kachestva, testirovanie i vihstavlenie ocenok. Tochka dostupa – [http://www.urau.donetsk.ua/~masters/2013/fknt/sedakov/library/assessment\\_evaluation\\_testing\\_and\\_grading.htm](http://www.urau.donetsk.ua/~masters/2013/fknt/sedakov/library/assessment_evaluation_testing_and_grading.htm)

6. McAlpine, M. (2002). Principles of assessment. Glasgow: University of Glasgow, Robert Clark Center for Technological Education. Available at: <http://www.caacentre.ac.uk/dldocs/Bluepaper1.pdf>

7. Biggs J. (2003) Teaching for Quality Learning at University. Buckingham: Open University Press.

8. Mizhnarodna morsjka konvenciya PDNV 78/95 z Maniljsjkimi popravkami 2010 r.

### **Волошинов С.А., Сокол И.В., Тригуб С.Н. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ**

*В статье проведен анализ понятия «результаты обучения»; рассматриваются и объясняются формы формативного и суммативного оценивания; как части учебного процесса, приводятся виды формативного и суммативного оценивания; приводится понятие непрерывного оценивания; рассмотрены средства оценивания результатов обучения, предложен принцип построения оценочной таблицы, которая сочетает в себе виды формативного и суммативного оценивания при изучении модуля «Мореходная астрономия» в процессе подготовки судоводителей.*

**Ключевые слова:** компетентности, результаты обучения, оценивание, оценочная таблица, мореходная астрономия.

**Voloshinov S.A., Sokol I.V., Trygub S.N. EVALUATION OF THE TEACHING STUDENTS**

*The concept of learning outcomes is clarified and the methods of assessment are considered in the article. This work suggests the principle of constructing the learning outcomes assessment chart for student training module «Nautical Astronomy».*

*This article clarifies the concept «learning outcomes». Methods of formative and cumulative assessment are considered and interpreted as the component of educative process and the examples of formative and cumulative assessment types are given. The conception of permanent assessment is suggested. The principles of training outcomes assessment with suggested principle of constructing the learning outcomes assessment chart, that combines the types of formative and cumulative assessment when studying the module «Nautical Astronomy» in the course of navigator training are considered.*

**Keywords:** *competencies, learning outcomes, assessment, assessment chart, nautical astronomy.*

© Волошинов С.А., Сокол І.В., Тригуб С.М.

Статтю прийнято  
до редакції 24.03.15

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ КОРАБЛЯ ПОСРЕДСТВОМ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ТРЕНИНГА СОВМЕСТИМОСТИ ЭКИПАЖА

*Евдокимова В.А.*

*Херсонская государственная морская академия*

*Деева О.В.*

*Государственная служба статистики, г. Киев*

*Хаев Л.Г.*

*Служба помощи, г. Берлин*

*Рост числа судов, их размеров и скоростей, появление новых опасностей на море, повышение напряжённости в международных отношениях и системный терроризм – обуславливают всё большую остроту вопросов обеспечения безопасности судна. Утрата безопасности судна, возникновение той или иной угрозы или опасности имеет своим источником как агрегаты, механизмы и устройства судна, так и «человеческий фактор», значение которого с развитием техники возрастает. Постоянно усложняющиеся процессы отбора, подготовки и повышения квалификации моряков требуют участия целого ряда специалистов, в том числе психологов. Флоты богатых стран широко и постоянно используют услуги квалифицированных психологов, отечественный флот прибегает к этому в значительно меньшей степени. улучшить межличностные отношения в экипаже судна, повысить коммуникативную компетентность всех его членов можно с помощью психологического тренинга. Целью данной работы является обоснование актуальности проведения психологического тренинга в экипажах кораблей, описание концепции и методики тренингов, их хода и результатов, полученных практических рекомендаций. Психологический тренинг в экипаже корабля строится с учётом особенностей его психологической атмосферы и корпоративной культуры. Задачи психологической помощи отчасти противопоставлены друг другу, конкурируют друг с другом, а отчасти содействуют друг другу, повышая общую эффективность тренинга за счёт синергетических эффектов. Естественной реакцией на угнетение высших потребностей человека в угоду животным потребностям в западном обществе является акцентирование духовной составляющей, приоритета высших ценностей человеческого существования. Разработана концепция тренинга, предусматривающая междисциплинарный подход, использование как духовных, национальных и профессиональных традиций, так и современных достижений философии, психологии, социологии; холистический подход к развитию личности; включение всех аспектов развития личности с доминантой духовной составляющей. В соответствии с концепцией тренинга совместимости экипажа сформулированы организационно-методические принципы работы тренинговых групп, методика и программа тренинга, организационная структура, сформирован и подготовлен коллектив тренеров, отобраны этюды и упражнения, подготовлены тестовые и раздаточные материалы. Использовали широкий спектр тренинговых методик, большинство из них заимствовали из литературы, однако в ходе занятий они подвергались модификации и адаптации к конкретным условиям занятий, составу участников, ситуации тренинга. Ряд использованных этюдов и упражнений были специально разработаны для данного тренинга.*

**Ключевые слова:** *безопасность судна, человеческий фактор, психологический тренинг, корпоративная культура, коммуникативная компетентность.*

**Вступление.** Сегодня экипажам кораблей самого различного класса и назначения приходится работать в жестких и быстроменяющихся условиях. рост числа судов, их размеров и скоростей, появление новых опасностей на море, повышение напряжённости в международных отношениях и системный терроризм обуславливают всё большую остроту вопросов обеспечения безопасности судна.

**Роль «человеческого фактора» в обеспечении безопасности судна.** Утрата состояния безопасности судна, возникновение той или иной угрозы или опасности имеет свои источники такие как агрегаты, механизмы и устройства судна, так и «человеческий фактор», связанный с действием или бездействием членов его экипажа [7].

Технический прогресс обуславливает постоянное совершенствование и усложнение машин, механизмов и систем управления корабля. Однако, «как это ни парадоксально на первый взгляд, с развитием техники значение «человеческого фактора»

возрастает» [9, С. 238].

По данным американской статистики, «человеческий фактор» является причиной «более 50% отказов различных установок, более 60% аварий на флоте, до 70% лётных происшествий. Иными словами, в этих случаях причины имеют психологический характер» [9, С. 229]. Отсюда физические и психические способности и выучка моряков приобретают не меньшее значение, чем характеристики систем и оборудования корабля.

Сегодня СМИ широко обсуждают падение «Боинга», сбитого над Украиной, и падение самолёта компании «Germawings» над территорией Франции, унесшее 150 жизней. И хотя версии о диспетчере-убийце, направившем «Боинг» в зону боевых действий, или втором пилоте-самоубийце – жертве несчастной любви, призваны, скорее, увести от истинных причин этих катастроф, в контексте темы статьи важно появление и обсуждение версий, связанных с «человеческим фактором».

**Механизмы влияния «человеческого фактора» на безопасность судна.** Функции всех без исключения членов экипажа судна реализуются в двух видах деятельности: «человек – машина» и «человек – человек». «Отношение «человек – машина» – это отношение «субъект труда – орудие труда». В процессе труда человек, пользуясь машинами как орудиями, осуществляет сознательно поставленные им цели» [9, С. 237]. В сравнении с ними отношения «человек – человек» являются более сложными и, в силу этого, хуже прогнозируемыми. На судне реализуются два различных вида таких отношений: «начальник – подчинённый» и отношения равных по рангу моряков, взаимодействующих между собой в ходе той или иной деятельности. Соотношение рангов взаимодействующих индивидов в значительной мере определяет их отношения.

С точки зрения теории надёжности, операции, выполняемые в системе «человек – машина», например, «оператор – машина» (например, слежение), имеют более высокие показатели надёжности, время их выполнения имеет меньшее рассеивание. Операции, выполняемые в системе «человек – человек» (например, оказание первой помощи) или «люди – машина» (совместная транспортировка грузов), имеют более низкие показатели надёжности, время их выполнения имеет большее рассеивание.

С точки зрения дисперсионного анализа, вклад дисперсии факторов отношений «человек-человек» в общую дисперсию показателей деятельности экипажа судна выше, чем дисперсии факторов отношений «человек – машина».

С точки зрения правового отражения проблемы, все, без исключения, руководящие документы по обеспечению безопасности судна отмечают значение и важность человеческого фактора, но если устройства обеспечения безопасности подробно описаны на многих десятках страниц, то человеческий фактор лишь упомянут [7]. Это говорит и о недостаточной теоретической разработанности, и о недостаточном практическом понимании механизмов влияния человеческого фактора на безопасность судна.

С точки зрения формы и содержания подготовки членов экипажа, если в подготовке моряков к деятельности типа «человек – машина» всегда уделялось и уделяется большое внимание, то подготовка к деятельности типа «человек – человек» остаётся на обочине, целенаправленное формирование её стереотипов не проводится. Межличностные конфликты, недостаточное взаимопонимание членов экипажа в критических, экстремальных ситуациях или в завершающих этапах длительных походов, связанных с хроническим утомлением экипажа [16], становятся источниками недооцененных опасностей и для каждого моряка, и для экипажа и судна в целом.

С точки зрения теории функциональных систем важно понимать механизмы влияния межличностного взаимодействия на показатели выполнения тех или иных операций на судне. «Исключительно важное значение в деятельности оператора имеет антиципация – предвидение хода событий, опережающее отражение» [9, С. 233]. «Наиболее широким по объёму понятием, относящимся к процессу формирования образа-цели и целеполагания, является понятие «опережающего отражения», введённое П. К. Анохиным» [2; 9, С. 252]. «Ещё в 1935 году, задолго до появления кибернетики

Н. Винера, П. К. Анохин установил факт наличия обратной афферентации о достигнутом конечном приспособительном эффекте» [9, с.275]. Теория функциональных систем П. К. Анохина дала объяснение физиологической архитектуры целенаправленного поведенческого акта [3]. Взаимодействие членов экипажа, вносящее высокую неопределённость в «образ будущего» при выполнении операций в системах, подсистемами которых являются не только системы «человек-машина», но и системы «человек-человек», усложняет опережающее отражение и повышает итоговое время выполнения операций в таких системах и характеристики его рассеивания.

С точки зрения оптимизации результатов выполнения некоторой деятельности необходимо поддержание оптимальных, «равновесных» психофизиологических параметров оператора в процессе такой деятельности. В то же время человеку, как и другим живым существам, свойственно не только стремление к гомеостазу, равновесию, внутренней и внешней гармонии, адаптации к среде. «Имеет место и определённое сопротивление равновесию: некоторый уровень напряжения, скорее, поддерживается, чем устраняется с помощью приспособительных действий» [19; 21, С. 6; 25]. Тем более, «в «аварийных» режимах функционирования, возникающих, например, в процессах обеспечения самосохранения, наблюдаются существенные отклонения от нормы констант гомеостаза организма» [21, С. 6]. Это обуславливает как отклонение результатов деятельности человека от «наилучших возможных», так и их повышенное рассеивание и колебание во времени.

С точки зрения психофизиологии выполнения операций известно, что «существенное влияние на характеристики операторской деятельности оказывают эмоции, внимание и утомление» [12; 16; 21, с.7]. Эмоциональное состояние моряка, особенно, в экстремальной ситуации борьбы с целым спектром опасностей за живучесть судна (в песне о гибели «Варяга» «борется стойко команда с морем, огнём и врагом») существенно зависит от того, кто рядом с тобой плечом к плечу решает поставленную задачу: настоящий друг или член экипажа, с которым отношения не сложились. О такой настоящей дружбе говорит и суворовское «сам погибай, а товарища выручай» и строки В. Высоцкого: «пусть вечно мой друг защищает мне спину, как в этом последнем бою». Обычно эти факторы считаются «благоприятными по умолчанию», однако, в реальности так бывает не всегда, а соответствующий фактический материал не становится предметом широкого обсуждения.

С точки зрения конфликтологии, социально-психологической теории конфликта: возникновение конфликтов в любом коллективе неизбежно [13, с.113]. Согласно определению Дж. фон Неймана и О. Моргенштейна, «конфликт – это взаимодействие двух объектов, обладающих несовместимыми целями и / или способами их достижения». Известны такие теории конфликтов, как теория структурного баланса Ф. Хайдера, структурно-функциональный подход Т. Парсонса, теория социального конфликта Л. Козера, конфликтология У. Ф. Линкольна, когнитивная теория М. Дойча, теория стратегии поведения в конфликтной ситуации К. Томаса [20].

Безусловно, использование принципа единоначалия является эффективной и отработанной стратегией в ситуации конфликта, но он не исключает ни самих конфликтов, ни результирующее возникновение угроз и опасностей, ни возможности нанесения существенного ущерба безопасности судна. Существенное снижение интенсивности конфликтов в системе (в нашем случае – в экипаже судна), с одной стороны – чрезвычайно затратно энергетически, а с другой – резко тормозит развитие системы. Таким образом, вместо задачи «устранения конфликтов» целесообразно решать задачу управления конфликтами для обеспечения, с одной стороны относительно спокойного психоэмоционального фона деятельности экипажа, а с другой – выявления недостатков и разрешения противоречий путём позитивного использования конфликтов.

**Психологический тренинг в экипаже как путь повышения безопасности судна.**

Даже этот краткий обзор показывает широкий междисциплинарный характер проблемы и необходимость участия в её решении специалистов по системному анализу и теории надёжности, эргономике и инженерной психологии, психофизиологии и конфликтологии, праву и специальным дисциплинам. Соответственно, постоянно усложняющиеся процессы отбора, подготовки и повышения квалификации моряков также требуют участия специалистов различного профиля.

Одной из важных тенденций развития современного общества является постоянное увеличение объёма и расширения сферы применения психологической помощи. Это определяется, с одной стороны – резким системным снижением базовых показателей безопасности как индивидов, так и социальных групп, а с другой – совершенствованием теоретических основ и практических методик психологической помощи [17; 24].

Флоты большинства богатых стран широко и постоянно используют услуги квалифицированных психологов, отечественный флот прибегает к этому в значительно меньшей степени. В такой ситуации сложно обеспечить решение существующих проблем и выход на новые рубежи деятельности флота, безопасности судна и членов его экипажа.

Улучшить межличностные отношения в экипаже судна, повысить коммуникативную компетентность [18] всех его членов можно с помощью психологического тренинга, являющегося одним из наиболее эффективных и экономичных методов современной практической психологии. Тренинг состоит в специальном образом организованном общении участников тренинговой группы. В содержание групповой работы входит выполнение различных тестов, этюдов и упражнений, дискуссии и обсуждения.

У истоков создания метода группового тренинга стояли такие видные психологи, как К. Левин («тренинг-группы»), К. Роджерс [14], У. Шутц («группы встреч»), Я. Морено (психодрама) [11], Ф. С. Перлз (гештальттерапия) [17]. Что касается теоретической парадигмы работы, то групповой тренинг может включать в себя элементы транзактного анализа [5], тренинга ассертивности [14], психодрамы [11], гештальттерапии [17], проективных методов исследования личности [25], группового психоанализа и других направлений.

Тренинг помогает лучше понимать свое и чужое поведение, расширяет возможность адекватной экспрессии своего внутреннего состояния. В процессе общения активизируются открытость, спонтанность, пластичность, гибкость, терпимость к другому, доброжелательность и искренность. Участие в группе делает рефлекссию более реалистичной, а осознание личностной структуры происходит не только на самосозерцательном уровне, но и на уровне конструктивных изменений поведения. Тренинг формирует навыки не только глубокого самопознания и познания других людей, но и апробации новых форм поведения под влиянием полученной информации [6; 10].

К числу групповых эффектов тренинга относят сплочение команды, развитие командного чувства, умения работать коллективом, доверять окружающим, прояснение и корректировка групповых целей, ценностей и ожиданий. Тренинг позволяет овладеть методами недирективного управления, приемами создания теплой, доброжелательной атмосферы взаимоотношений, перцептивными методиками (например, анализом невербального взаимодействия), анализом ситуации общения. Таким образом, тренинговые методы являются мощным средством широкого диапазона действия [6; 10; 14; 22].

**Цель работы.** Целью данной работы является обоснование актуальности проведения психологического тренинга в экипажах кораблей, описание концепции и методики тренингов, их хода и результатов, полученных практических рекомендаций.

**Психологическая атмосфера и корпоративная культура экипажа судна.**

Психологический тренинг в экипаже корабля строится с учётом особенностей его психологической атмосферы и корпоративной культуры. Последние определяются высокими, близкими к предельно допустимым, физическими и психическими нагрузками,

замкнутым пространством корабельных помещений, однополым коллективом, необходимостью освоения в короткие сроки сложной техники современного корабля, высокой ответственностью каждого, наличием разнообразных реальных опасностей для жизни и здоровья в продолжительных походах вдали от родных берегов.

Это предопределяет необходимость жесткого физического и психического отбора, обеспечивает социальную престижность профессии моряка, возникновение ореола исключительности. Весьма сильной является установка: «мы особенные, мы настоящие мужчины, мы можем вынести многое, мы не предаём». Существует резкое противопоставление себя женщинам, гражданским лицам, «сухопутным» военным.

Способствует этому и система ритуалов инициации [23], например, в первый выход в море матрос должен выпить литр забортной воды. Согласно результатам экспериментов Э. Аронсона и Д. Миллса, «людям, прошедшим неприятную инициацию с целью стать членами определенной группы, эта группа нравится больше, чем людям, заплатившим за ту же привилегию меньшую цену» [1].

Никакое влияние на личность и коллектив не может быть эффективным без максимального использования позитивных элементов корпоративной культуры, ее зримых символов, ритуалов и традиций. Важным символом корпоративной культуры корабля является кают-компания. Особая роль этого помещения определяется его значением как интеллектуального, культурного и духовного центра корабля. Это символ высокой военной, морской и офицерской культуры. Известен такой факт последних дней героической обороны Севастополя. Вечером 1 июля 1942 года, когда судьба его защитников была фактически предрешена, они остались без боеприпасов, пищи и воды под непрерывным артиллерийским обстрелом и бомбежками с воздуха, «пришел военный прокурор Черноморского флота Кошелев. Он умылся, покусал. Тогда еще работала кают-компания, но в нее прокурор не пошел, так как был не по форме одет» (из воспоминаний участника обороны В. В. Гусарова. Фонд музея КЧФ, д. НВМ, л. 406). Таким образом, в сознании моряка даже на грани жизни и смерти ритуалы кают-компании остаются незыблемыми.

Работа по коррекции корпоративной культуры экипажа судна должна проводиться системно, охватывая все ступени иерархии и все специальности членов экипажа. Практика показывает, что сложность этой работы, степень сопротивления носителей корпоративной культуры резко повышается с переходом на все более высокие этажи иерархии. Между тем, если опираться на результаты, полученные анкетированием или прямым опросом, часто все выглядит наоборот [8, с.334].

Чем прочнее традиции коллектива, глубже смысловая наполненность его символов, корпоративное чувство «особенности», значимости, единства, тем сложнее даются даже незначительные изменения. Поэтому чрезвычайно важным является принцип не противопоставления тренинговых установок сложившейся корпоративной культуре экипажа, а её дополнение и развитие с помощью тренинговых методов. И здесь можно вспомнить Иисуса Христа, провозгласившего: «Не думайте, что Я пришел нарушить закон или пророков: не нарушить пришел Я, но исполнить» (Мф. 5:17). То есть, провозглашённые принципы Евангелия не нарушают, а развивают положения Ветхого завета («Закон» и «Пророков»).

При проектировании тренинга создаётся собственная, внутренняя система ритуалов, которая не только задаёт организационные рамки встречи и групповой работы в целом, но и влияет на идеологию, мировоззрение, иерархию ценностей группы. Так, совместная молитва даёт участникам группы установку на христианские ценности, следование заповедям; хоровое пение «Интернационала» – на коммунистическую идеологию, пролетарский интернационализм; пение гимна страны или «Вставай, страна огромная» – на патриотизм, национальные ценности; гимна группы – установку на групповое единство, групповые ценности; популярного поп-шлягера – на массовую культуру, ценности потребления и стяжательства.

Групповые установки тренинга могут быть заданы не только в явной, прямой, вербальной форме, как это описано выше, но и через косвенное, не прямое, неявное воздействие. Так, ритуалы на основе танцев и упражнений в кругу, когда участники обнимаются за плечи, повышают единство группы, усиливают групповую сплочённость. Индивидуальные упражнения типа физических упражнений или выполнения тестов развивают конкуренцию и соревновательность.

**Цели и задачи психологического тренинга совместимости экипажа.** К. Рудестам определил три основные цели групповой психокоррекции: решение психологических проблем, обеспечение хорошего самочувствия человека в группе, предоставление возможности самореализации. Г. Селье видел цель существования человека как биосистемы в «самосохранении, в реализации врожденных способностей и влечений с наименьшим ущербом и неудачами». Стремления человека в социуме практически аналогичны [17].

Представители гуманистического направления в современной психологии (А. Маслоу, К. Роджерс, Э. Берн, В. Сатир) выделяли такие социогенные потребности, как потребности в познании, аффилиации, достижении, доминировании. Создание условий для их удовлетворения через специфическую групповую деятельность может стать определяющим моментом тренинга [14].

Задачами психологической помощи здоровым индивидам в целом являются:

- психологическое просвещение и информирование, получение знаний о психических процессах и явлениях, способах борьбы со стрессом и улучшения своего состояния;
- психологическая составляющая общего, профессионального и социального обучения индивида и/или группы (школа, университет, армия, флот) [25; 27];
- рекреация – приятное времяпрепровождение, развлечение, наслаждение, получение удовольствия; сброс напряжения, релаксация; отдых и восстановление работоспособности;
- психологическая адаптация к новой среде и последующая интеграция в неё после смены индивидом среды (в нашем случае, краткосрочные переходы «берег» – «море» – «берег» и долговременные «жизнь до флота» – «жизнь на флоте» – «жизнь после флота»);
- психологическая профилактика (предотвращение заболеваний и недугов) и реабилитация (после травм и болезней, аварий и катастроф, хирургических операций и участия в боевых действиях) – оздоровление, улучшение физической формы и настроения, повышение физической и интеллектуальной работоспособности [22; 24; 28];
- психологическая поддержка и сопровождение, решение психологических проблем [6; 10].
- психологическое развитие – акмеологические задачи, личностный рост, развитие жизненной компетентности индивида и группы [4; 10; 14; 22; 28].

Эти цели и задачи отчасти противопоставлены друг другу, конкурируют друг с другом (так как, например, они претендуют на одни и те же ресурсы – затраченное время, объём внимания участников), а отчасти содействуют друг другу, повышая общую эффективность тренинга за счёт синергетических эффектов. Так, например, обучение индивида повышает интенсивность развития его личности и наоборот, решение психологических проблем личности способствует её развитию и наоборот. Существует, однако, определённый минимальный уровень «инвестирования», вложения энергии и времени в каждую из указанных целей, чтобы психологическая помощь вообще функционировала как система мероприятий.

Естественной реакцией на постоянное снижение уровня и повышение объёма притязаний, угнетение высших потребностей в угоду низшим, животным потребностям в западном обществе является акцентирование духовной составляющей, приоритета высших ценностей человеческого существования. Удовлетворить высокие личные

и социальные потребности можно с помощью психологического тренинга акмеологической направленности.

Акмеологические тренинги - тренинги личностного роста преследуют последнюю из описанных целей в сочетании с небольшим вкладом всех остальных задач. Акмеология (от др. – греч. ακμή, акме – вершина, др. – греч. λόγος, logos – учение) – раздел психологии развития, исследующий закономерности и механизмы достижения высшей ступени личностного развития – акме. Это направление прочно заняло своё место в системе практической психологии. В русле этого направления разработан психологический тренинг совместимости экипажа судна.

**Концепция психологического тренинга совместимости экипажа.** Согласно уставу, необходимо «изучать и внедрять в практику все новое, передовое, способствующее повышению эффективности обучения и воспитания подчиненных». В русле этого уставного положения была разработана система тренингов совместимости экипажа, включившая занятия с матросами срочной службы, матросами, служащими по контракту, мичманами, младшими и старшими офицерами [8, С. 334].

Системная концепция предложенных тренингов совместимости предусматривает:

- междисциплинарный (а не узкоспециальный) подход, использование как духовных, национальных и профессиональных традиций, так и современных достижений философии, психологии, социологии;
- целостный, холистический (а не плюралистический) подход как к развитию личности в целом, так и к решению её частных проблем (например, коммуникативных);
- системное познание себя, группы (как модели *urbi et orbi*), общества и окружающего мира;
- включение всех аспектов развития личности с доминантой духовной составляющей.

Целостный подход к развитию личности в процессе тренингов подразумевает охват всех аспектов развития личности: физического, психического, социального и духовного. Программа тренингов при этом должна обеспечить решение следующих групп задач:

- поддержка задач физического развития (повышения скорости реакции, улучшения координации движений и других);
- психическое развитие: снижение тревожности и внутренней конфликтности;
- социальное развитие: разыгрывание ситуаций на корабле и на берегу, решение задач адаптации при переходе из среды «море» в среду «берег» и наоборот, облегчение межличностного общения; развитие коммуникативной компетентности [18];
- духовное развитие: восстановление единства духовного, социального, психического и физического начал личности с приоритетом духовности.

Работа по планированию, организации, проведению и анализу тренингов совместимости предполагает придание этому термину широкого смысла, системного значения (перечислено в порядке повышения масштаба системы):

- внутренняя совместимость различных потребностей, ценностей, мотивов, целей личности;
- межличностная совместимость членов малой (тренинговой) группы;
- межличностная и межгрупповая совместимость всех членов экипажа судна;
- совместимость экипажа с другими взаимодействующими с ним группами людей, например, в порту («ближняя экология»);
- совместимость судна и его экипажа с окружающей средой («дальняя экология»).

Предложенный тренинг совместимости экипажа развивает известные и востребованные тренинги коммуникативной компетентности [18], придавая им более широкий и глубокий смысл, не только обучающую, но и развивающую, акмеологическую направленность. Воспетая некоторыми исследователями прозападной ориентации «свободная от идеологии сущность» [18, С.16] тренинга является грубой деформацией

реальности: даже самый узкопрактический тренинг имеет или явно выраженную, или замаскированную идеологию. «Для нашего менталитета» «техника второстепенна по отношению к содержанию, форма – по отношению к существу, техническая культура – по отношению к культуре духовной» и «в тренинге личностно-развивающий подход доминирует над технологическим» [18, С.21].

В соответствии с этим сформулированы организационно-методические принципы работы тренинговых групп:

- организация в экипаже системы групп с общей целью, но несколько варьирующими задачами, определяемыми различным рангом и специальностями участников;
- сочетание очных групповых занятий, и очной и дистанционной индивидуальной поддержки и консультирования;
- сочетание небольшой доли теоретического обучения и большой – практического.

Цель тренинга для матросов – обеспечение их более быстрой и полной адаптации к условиям службы на корабле, профилактика межличностных конфликтов и неуставных отношений, повышение коммуникативной компетентности, коррекция и развитие личности. Направленность тренинга была, в основном, каузальной, направленной на причины нарушений, отчасти – симптоматической.

Согласно изложенным принципам и теоретическим установкам разработаны авторская концепция, методика, программа и организационная структура тренинга; сформирован и подготовлен коллектив тренеров; отобраны этюды и упражнения; подготовлены тестовые и раздаточные материалы.

#### **Отбор методов для психологического тренинга совместимости экипажа.**

В практике тренинга используют такие методы групповой работы, как групповая дискуссия, обсуждение [6; 10; 24]; ролевые игры, разыгрывание сценок и этюдов, психодрама по Морено, системные расстановки по Хеллингеру [6; 11; 14]; командные игры и соревнования [6; 10; 22; 28]; психомоторные упражнения, психогимнастика [15; 28]; методы арт-терапии и, шире, терапии искусством (рисование, лепка, танец, пение) [17; 25]; суггестивные методы (аутогенная тренировка по Шульцу, медитация, визуализация) [4; 17; 22]; комбинированные методы (например, прогрессивная релаксация по Джейкобсону включает моторные и суггестивные компоненты) [4].

Использовали широкий спектр тренинговых методик (табл. 1). Большинство упражнений и этюдов заимствовали из литературы [4; 6; 10; 15; 18], однако в ходе подготовки к занятиям их модифицировали с учётом специфики контингента участников и условий тренинга, а в ходе занятий адаптировали к конкретному составу участников и ситуации тренинга. Ряд этюдов и упражнений были специально разработаны для данного тренинга: «Море и берег» (анализ образов и ассоциаций), «Дальний поход», «У нас на корабле» (анализ ситуаций), «Что нужнее матросу?» (анализ качеств личности), «Экскурсия по кораблю» («покажи мне свой корабль») и другие.

Таблица 1 – Использование различных методик в психологическом тренинге совместимости

| № | Направления и методики тренинга                      | Авторы                            | Применение                                           |
|---|------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1 | 2                                                    | 3                                 | 4                                                    |
| 1 | Теория и подходы социально-психологического тренинга | Левин, Фопель, Форверг, Марасанов | Методология, методика и организация тренинга         |
| 2 | Полимодальная арттерапия, терапия искусством         | Бурно, Копытин, Ткаченко, Яценко  | Упражнения и этюды для включения в содержание встреч |

Продолжение табл. 1

| 1 | 2                                                                                                                             | 3                                                 | 4                                                                         |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 3 | Телесно-ориентированная терапия, танцевдвигательная терапия, пантомима, психогимнастика, телесные практики                    | Райх, Фельден-крайс, Баскаков, Берёзкина, Хрящева |                                                                           |
| 4 | Практика социально-психологического тренинга, тренинга ассертивности, вербальные упражнения, групповые дискуссии и обсуждения | Фопель, Форверг, Вачков, Козлов                   |                                                                           |
| 5 | Аутогенная тренировка, имажинативные упражнения, визуализации                                                                 | Шульц, Ахмедов, Лобзин, Цзен                      |                                                                           |
| 6 | Арттерапия, вербальные методы                                                                                                 | –                                                 | Работа с индивидом в группе<br>Индивидуальное консультирование участников |

**Методика и организация тренинга совместимости экипажа.** Особенности организации тренингов были связаны с острым дефицитом времени и пространства. Были организованы дневные и вечерние группы. В состав каждой группы вошли разнополая пара ведущих и 6–8 участников, а при долеовом участии, то есть посещении каждым участником половины занятий плюс первое и последнее – 10–12. К тренингу допускали при хорошем самочувствии, отсутствии временных медицинских противопоказаний согласно опросу, случаев отказа при этом не было. При невозможности посещения всех занятий одно место занимали два человека, при этом посещение первого и последнего занятий было обязательно для всех участников, например, Иванов посещал занятия 1, 2, 4, 6, 7, а Петров – занятия 1, 3, 5, 7. Общее количество участников на первом и последнем занятиях не превышало 12 человек.

Занятия проводили в матросской столовой, два стола временно демонтировали, участники сидели на 4 скамьях по трое (основная пространственно-коммуникативная диспозиция участников: сидя в кругу), форма одежды на занятиях – штатная, повседневная. Очные индивидуальные консультации проводили по желанию участников, до часа на участника, до двух консультаций в день, до или после дневной и вечерней сессий, начиная со второго дня. Согласно пожеланиям участников использовали часть личного времени матросов. По соображениям безопасности аудио- и видеозапись не производили, фотосъемкой не пользовались.

В начале первого занятия проводили короткую вступительную лекцию, в которой раскрывали сущность тренинга, особенности функционирования группы, указывали возможные результаты тренинга. После нее организовывали беседу на темы: «Какое у меня настроение?», «Чего я ожидаю от группы?» и т.д.

Типовая структура занятия включала представление (первое занятие) или групповое приветствие с воспоминаниями (последующие занятия), психомоторное упражнение, коммуникативное упражнение, аутогенное погружение [4], обсуждение, подведение итогов, групповое прощание. Основные коррекционные методы: психомоторные упражнения, групповые дискуссии, аутогенная тренировка; вспомогательные – диалоги и медитация (табл. 1). Занятия были нацелены на повышение открытости и разрешение внутренних и межличностных конфликтов. Коммуникативная структура группы – «звезда», то есть, связи «участник – ведущие» были интенсивнее связей «участник – участник».

События прошлой встречи («групповые воспоминания») и события в перерыве между встречами («полевые воспоминания») подвергали обсуждению с правом каждого на краткое высказывание. Обсуждение следовало также непосредственно после каждого упражнения. Темп коммуникации был средним, паузы – средней продолжительности.

Уровень жесткости следования программе, структурированности времени занятий, ввиду недостатка времени, был средним. Уровень структурированности времени с начала до предпоследнего занятия снижали, потом повышали. Уровень жесткости интервенций ведущих и конфронтаций участников был средним, ввиду недостатка времени, на глубокую проработку конфликтов и последующую эмоциональную «разгрузку». Этот уровень также с начала до предпоследнего занятия рос, потом снижался.

С учетом существующей системы символов, воплощающих соответствующую систему ценностей, тренинг для офицеров проводили в кают-компании. Участники сидели по три человека за столом. Первая половина занятия по форме была построена как беседа, традиционная для времяпрепровождения офицеров в кают-компании. Ее содержанием было, в основном, обсуждение выполненных психомоторных и коммуникативных упражнений, а также последующая общая дискуссия. Вторая половина занятия представляла собой сеанс аутогенной тренировки и последующее обсуждение его результатов [4]. Адаптация внешней формы занятий тренинга к высоким образцам, позитивным стереотипам поведения участников ускорила нелёгкое принятие принципов и норм тренинга и способствовала повышению его конечной эффективности.

**Ход и результаты тренинга совместимости экипажа.** На протяжении тренинга, как это и описано в литературе [25], выявили 3 стадии работы. Начальной стадии был свойствен высокий уровень ситуативного напряжения, участники испытывали тревогу («непонятно, что здесь делать можно, а что нельзя», «не хочу выглядеть глупым», «следует ли мне много говорить о себе»). Это выражалось иногда в молчании, иногда – в чрезмерной говорливости. В центре внимания ведущих на этой стадии была диагностика личностной проблематики участников, от которой во многом зависела эффективность дальнейших занятий.

Рабочая стадия занимала основное время тренинга и характеризовалась значительными эмоциональными нагрузками. На этой стадии повышалась чувствительность, путём выдвижения и проверки гипотез диагностировали систему психологической защиты личности. В наиболее удачных случаях происходила дезинтеграция личности, возникавшая под влиянием самоанализа и самоосознания, имели место пересмотр ценностей и переориентация установок.

Конечная стадия развития группы, реинтеграция личности включала подведение итогов, перепроверку каждым из участников своих возможностей и выявление трудностей, с которыми он может столкнуться при общении. Участники моделировали ситуации профессиональной деятельности и социального общения, при этом их анализ оказывался достаточно продуктивным.

Все тренинговые группы, создаваемые в экипаже судна, отличались высоким единством ценностных ориентаций и общей устойчивой системой символов и ритуалов. Это обеспечило предпосылки достижения высоких результатов тренинга в ограниченное время.

Психологически тренинг представлял собой пространство между кораблем и берегом, «морем» и «землёй». Эта граница играет особую роль в жизни каждого моряка, и открытие возможности возникновения и переживания такого «пограничного состояния» было весьма важным. Недаром матросы предложили использовать для тренинга часть высоко ценимого ими личного времени.

Новизна и необычность действия вызывала острое любопытство остальных членов экипажа, а также экипажей стоящих рядом кораблей к происходящему на тренинге. Это повышало мотивацию участников актуальных тренинговых групп, создавало некий ореол исключительности, причастности.

Разработанный тренинг направлен отчасти на коррекцию выявленных психологических особенностей участников, а отчасти – на их поддержку и развитие. Для этого необходимо «присоединение» ведущих тренинга (термин нейролингвистического программирования) к ценностям веры, страны, флота, корабля. При этом наблюдали существенную динамику особенностей субъектов тренинга различного масштаба (табл. 2).

Таблица 2 – Динамика особенностей субъектов психологического тренинга совместимости экипажа

| Субъект особенностей                                                                                                                     | Группа особенностей по периоду их возникновения                           | Особенности субъектов предложенного психологического тренинга совместимости экипажа                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Личность участников тренинга                                                                                                             | «Условно исходные», имевшиеся до службы                                   | Высокий уровень физического и психического здоровья                                                  |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Высокий интеллектуальный и образовательный уровень (треть молодых матросов – после хороших вузов)    |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Высокая маскулинность, часто сочетающаяся с выраженной гомофобией*                                   |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Высокая самооценка*                                                                                  |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Высокая агрессивность*                                                                               |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Высокий уровень психологических защит*                                                               |
|                                                                                                                                          | Возникшие на протяжении службы                                            | Привычное состояние напряжённости, ожидания                                                          |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Привычка к деятельности в условиях дефицита времени                                                  |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Острый тактильный голод                                                                              |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Высокая способность к вхождению в трансовые состояния                                                |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Высокий уровень способности к рефлексии                                                              |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Приоритет высших (надличностных) ценностей в структуре ценностных ориентаций, развитое чувство долга |
|                                                                                                                                          | Возникшие в результате тренинга                                           | Высокая значимость тренинга, высокая тренинговая мотивация                                           |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Повышенная коммуникативная компетентность и уровень социализации                                     |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Дополнительно повышенная самооценка, уверенность в себе                                              |
| Тренинговая группа                                                                                                                       | «Условно исходные», имевшиеся до тренинга, возникшие на протяжении службы | Высокое ценностно-ориентационное единство                                                            |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Тесное знакомство между собой в группе, слабое знакомство между разными группами                     |
|                                                                                                                                          | Возникшие в результате тренинга                                           | Высокое внутригрупповое единство, наличие символов и ритуалов                                        |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Дополнительное улучшение знакомства с другими членами экипажа, особенно, в своей группе              |
| Экипаж корабля                                                                                                                           | «Условно исходные», имевшиеся до тренинга, возникшие на протяжении службы | Сложившаяся корпоративная культура с устойчивой системой символов и ритуалов                         |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Высокое морально-политическое единство                                                               |
|                                                                                                                                          | Возникшие в результате тренинга                                           | Повышенная слаженность экипажа                                                                       |
|                                                                                                                                          |                                                                           | Оптимизированный уровень конфликтности в экипаже                                                     |
| * – относительно этих свойств личности вопрос о степени их наличия до начала службы и развития во время её прохождения остаётся открытым |                                                                           |                                                                                                      |

Острый тактильный голод мог быть спровоцирован не только однополым коллективом, но и наличием ограниченного замкнутого пространства. Тем не менее, согласно Э. Берну, дефицит тактильной стимуляции является в нашем обществе

обычным [5]. В нашей тренинговой практике это явление наблюдали у участников обоего пола, всех возрастных групп, низко- и высокоранговых, в однополых и двуполых группах.

Большинство участников групп без приказа, без инструктирования были пассивны, а по приказу были готовы сделать многое. Роль разрешения извне на определенные формы поведения, вообще высокая в нашем обществе, для них была еще более высокой.

Участники всех рангов испытывали мощную идентификацию с ведущей, наделяя её чертами «конечного спасителя» и доминирующей личности, причём с повышением возраста и ранга наблюдали снижение значимости первой роли и повышение значимости второй. Прощание было трогательным, участники не хотели расходиться, всеми участниками и их командирами тренинг был оценен позитивно. После проведенного тренинга для его участников была организована дистанционная психологическая поддержка в режиме горячей линии. Отзывы участников показали улучшение эмоционального фона, повышение работоспособности, развитие сенситивности и рефлексии, улучшение понимания себя и других. Как следствие, у участников улучшилось состояние здоровья, отношения с близкими, наблюдались успехи по службе.

Накопленный опыт проведения тренингов совместимости экипажа позволил дать ряд рекомендаций по совершенствованию их методики:

- малая площадь помещений, ограниченное пространство то, что столы привинчены к полу, еще больше усугубляет дефицит свободного пространства. Это вызывает необходимость корректировки методики выполнения моторных упражнений в сторону уменьшения потребного пространства;
- качка на корабле у стенки практически не ощутима, поэтому модификация упражнений в сторону снижения требований к координации движений не является необходимой;
- необходима высокая временная структурированность занятий вследствие недостатка времени;
- темп должен быть не очень медленным из-за недостатка времени, но и не очень быстрым из-за необходимости противопоставления обычной жизни на корабле;
- нецелесообразно использование психодрамы [11], драматерапии, системных расстановок вследствие недостатка времени, ограниченности пространства и невозможности занятий на палубе; нецелесообразны упражнения на знакомство с внешней стороной жизни участников;
- целесообразно использование упражнений на развитие кинестетической (мышечной) и тактильной (кожной) чувствительности [22], несмотря на их внешнее отвержение участниками под влиянием механизмов психологической защиты;
- целесообразно использование упражнений с опорой на имажинативные способности, способности воображения. Эти способности у участников хорошо тренированы, такие упражнения встречаются участниками с благодарностью;
- целесообразна эксплуатация эмоционально нагруженных образов «далекой (пространственно) матери» («блудный сын», «мать и дитя») и «далекой (во времени) дочери» («разговор с дочкой», «прогулка с дочкой»);
- при аутогенном погружении целесообразно использование образов: большие свободные пространства, поле, горы, лес, сад (одному из коренных столичных жителей упорно снилась деревня).

### **Выводы**

1. Духовным и экзистенциальным фундаментом тренингов на корабле являются традиции флота, корпоративная культура экипажа, основанные на целостной и устойчивой системе символов и ритуалов.

2. Проведение тренингов совместимости экипажа судна, согласно разработанной методике, является эффективным средством повышения безопасности судна путём улучшения выполнения экипажем своих функций за счёт повышенной коммуникативной компетентности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева Г. М. Социальная психология. – М. : Аспект-пресс, 1999. – 367 с.
2. Анохин П. К. Опережающее отражение действительности // Вопросы философии. – 1962. – № 7. – С. 97-106.
3. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем // Принципы системной организации функций. – М. : Наука, 1973. – С. 5-28.
4. Ахмедов Т. И., Жидко М. Е. Психотерапия в особых состояниях сознания: история, теория, практика. – Харьков : Фолио; М. : АСТ, 2000. – 768 с.
5. Берн Э. Групповая психотерапия. – М. : Академический проект, 2000. – 464 с.
6. Вачков И. В. Основы технологии группового тренинга. Психотехники. – М. : Ось-89, 1999. – 176 с.
7. Глотов Ю. Г. Безопасность жизнедеятельности человека на морских судах. – М. : Транспорт, 2000. – 320 с.
8. Корпоративная культура : аспекты управления / Г. Л. Хае, А. Л. Еськов, Л. Г. Хае и др. – Донецк : Донбасс, 2003. – 400 с.
9. Ломов Б. Ф. Вопросы общей, педагогической и инженерной психологии. – М. : Педагогика, 1991. – 296 с.
10. Марасанов Г. И. Социально-психологический тренинг. – М. : Совершенство, 1998. – 208 с.
11. Морено Я. Театр спонтанности. – Красноярск : Фонд ментального здоровья, 1993. – 126 с.
12. Немчин Т. А. Состояние нервно-психического напряжения. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1983. – 166 с.
13. Почебут Л. Г., Чикер В. А. Индустриальная социальная психология. – СПб. : Изд-во СПбУ, 1997. – 184 с.
14. Практикум по социально-психологическому тренингу / Под ред. Б. Д. Парыгина. – СПб. : Изд-во Михайлова В. А., 2000. – 352 с.
15. Психогимнастика в тренинге / Под ред. Н. Ю. Хрящевой. – СПб. : Ювента, 1999. – 256 с.
16. Розенблат В. В. Проблема утомления. – М. : Медицина, 1975. – 220 с.
17. Рудестам К. Групповая психотерапия. Психокоррекционные группы: теория и практика. – М. : Прогресс, 1990. – 368 с.
18. Сидоренко Е. В. Тренинг коммуникативной компетентности в деловом взаимодействии. – СПб. : Речь, 2002. – 208 с.
19. Симонов П. В. Высшая нервная деятельность человека: Мотивационно-эмоциональные аспекты. – М. : Наука, 1975. – 175 с.
20. Скотт Д. Г. Способы разрешения конфликтов. – К. : Издательское общество Верзилин и К., 1994.
21. Фролов М. В., Милованова Г. Б. Электрофизические помехи и контроль состояния человека-оператора. – М. : Эдиториал УРСС, 1996. – 160 с.
22. Цзен Н. В. Психотренинг: игры и упражнения / Н. В. Цзен, Ю. В. Пахомов. – М. : Класс, 1999. – 272 с.
23. Элиаде М. Тайные общества: Обряды инициации и посвящения. – М. : Гелиос; Киев : София, 2002. – 352 с.
24. Ялом И. Теория и практика групповой психотерапии. – СПб. : Питер, 2000. – 640 с.
25. Яценко Т. С. Психоаналитическая интерпретация комплекса тематических психорисунков (глубиннопсихологический аспект) / Т. С. Яценко, Я. М. Кмит, Л. В. Мошенская – М. : СИП РИА, 2000. – 194 с.
26. Allport G. W. Becoming: Basic Considerations for a Psychology of Personality. – New Haven: Yale University Press, 1955.

27. Kompetenztraining / Hrsg. W. D. Oswald, T. Gunzelmann. – Göttingen, 2001. – 546 p.
28. Vopel K. W. Kreative Konfliktlösung: Spiele für Lern und Arbeitsgruppen. – Hamburg: Iskopress, 2008.

## REFERENCES

1. Andreeva G. M. Social'naya psikhologiya. – M. : Aspekt-press, 1999. – 367 s.
2. Anokhin P. K. Operezhayuthee otrazhenie deystvitel'nosti // Voprosih filosofii. – 1962. – № 7. – S. 97-106.
3. Anokhin P. K. Principial'nihe voprosih obthej teorii funkcional'nykh sistem // Principih sistemnoy organizacii funkciy. – M. : Nauka, 1973. – S. 5-28.
4. Akhmedov T. I., Zhidko M. E. Psikhoterapiya v osobnykh sostoyaniyakh soznaniya: istoriya, teoriya, praktika. – Khar'kov : Folio; M. : AST, 2000. – 768 s.
5. Bern Eh. Gruppovaya psikhoterapiya. – M. : Akademicheskij proekt, 2000. – 464 s.
6. Vachkov I. V. Osnovih tekhnologii gruppovogo treninga. Psikhotehniki. – M. : Osj-89, 1999. – 176 s.
7. Glotov Yu. G. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti cheloveka na morskikh sudakh. – M. : Transport, 2000. – 320 s.
8. Korporativnaya kul'tura : aspektih upravleniya / G. L. Khaet, A. L. Es'kov, L. G. Khaet i dr. – Doneck : Donbass, 2003. – 400 s.
9. Lomov B. F. Voprosih obthej, pedagogicheskoy i inzhenernoy psikhologii. – M. : Pedagogika, 1991. – 296 s.
10. Marasanov G. I. Social'no-psikhologicheskij trening. – M. : Sovershenstvo, 1998. – 208 s.
11. Moreno Ya. Teatr spontannosti. – Krasnoyarsk : Fond mental'nogo zdorov'ya, 1993. – 126 s.
12. Nemchin T. A. Sostoyanie nervno-psikhicheskogo napryazheniya. – L. : Izd-vo LGU, 1983. – 166 s.
13. Pochebut L. G., Chiker V. A. Industrial'naya social'naya psikhologiya. – SPb. : Izd-vo SpbU, 1997. – 184 s.
14. Praktikum po social'no-psikhologicheskomu treningu / Pod red. B. D. Parih-gina. – SPb. : Izd-vo Mikhaylova V. A., 2000. – 352 s.
15. Psikhogimnastika v treninge / Pod red. N. Yu. Khryatheyoy. – SPb. : Yuventa, 1999. – 256 s.
16. Rozenblat V. V. Problema utomleniya. – M. : Medicina, 1975. – 220 s.
17. Rudestam K. Gruppovaya psikhoterapiya. Psikhokorrekcionnihe gruppah: teoriya i praktika. – M. : Progress, 1990. – 368 s.
18. Sidorenko E. V. Trening kommunikativnoy kompetentnosti v delovom vzaimodeystvii. – SPb. : Rechj, 2002. – 208 s.
19. Simonov P. V. Vihsshaya nervnaya deyatelnost' cheloveka: Motivacionno-ehmocional'nihe aspektih. – M. : Nauka, 1975. – 175 s.
20. Skott D. G. Sposobih razresheniya konfliktov. – K. : Izdatel'skoe obchestvo Verzhilin i K., 1994.
21. Frolov M. V., Milovanova G. B. Ehlektrofizicheskie pomekhi i kontrol' sostoyaniya cheloveka-operatora. – M. : Eheditorial URSS, 1996. – 160 s.
22. Czen N. V. Psikhotrening: igrh i uprazhneniya / N. V. Czen, Yu. V. Pakhomov. – M. : Klass, 1999. – 272 s.
23. Ehliade M. Taynihe obchestva: Obryadih iniciacii i posvyatheniya. – M. : Gelios; Kiev : Sofiya, 2002. – 352 s.
24. Yalom I. Teoriya i praktika gruppovoy psikhoterapii. – SPb. : Piter, 2000. – 640 s.
25. Yacenko T. S. Psikhooanaliticheskaya interpretaciya kompleksa tematicheskikh psikhorisunkov (glubinnopsikhologicheskij aspekt) / T. S. Yacenko, Ya. M. Kmit,

L. V. Moshenskaya – М. : SIP RIA, 2000. – 194 s. Allport G. W. Becoming: Basic Considerations for a Psychology of Personality. – New Haven: Yale University Press, 1955.

26. Kompetenztraining / Hrsg. W. D. Oswald, T. Gunzelmann. – Göttingen, 2001. – 546 p.

27. Vopel K. W. Kreative Konfliktlösung: Spiele für Lern und Arbeitsgruppen. – Hamburg: Iskopress, 2008.

**Євдокимова В.А., Дєєва О.В., Хаст Л.Г. ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ КОРАБЛЯ ДОПОМОГОЮ ПСИХОЛОГІЧНОГО ТРЕНІНГУ СУМІСНОСТІ ЕКІПАЖА.**

Зростання числа суден, їх розмірів і швидкостей, поява нових небезпек на морі, підвищення напруженості в міжнародних відносинах та системний тероризм – обумовлюють все більшу гостроту питань забезпечення безпеки судна. Втрата безпеки судна, виникнення тієї чи іншої загрози або небезпеки має своїм джерелом як агрегати, механізми і пристрої судна, так і «людський фактор», значення якого з розвитком техніки зростає. Постійно ускладнюються процеси відбору, підготовки та підвищення кваліфікації моряків, що вимагає участі цілого ряду фахівців, в тому числі, психологів. Флоти багатих країн широко і постійно використовують послуги кваліфікованих психологів, вітчизняний флот вдається до цього в значно меншому ступені. Поліпшити міжособистісні відносини в екіпажі судна, підвищити комунікативну компетентність усіх його членів можна за допомогою психологічного тренінгу. Метою даної роботи є обґрунтування актуальності проведення психологічного тренінгу в екіпажах кораблів, опис концепції та методики тренінгів, їх ходу і результатів, отриманих практичних рекомендацій. Психологічний тренінг в екіпажі корабля будується з урахуванням особливостей його психологічної атмосфери та корпоративної культури. Завдання психологічної допомоги частково протиставлені один одному, конкурують один з одним, а частково сприяють один одному, підвищуючи загальну ефективність тренінгу за рахунок синергетичних ефектів. Природною реакцією на пригнічення вищих потреб людини на догоду тваринам потребам у західному суспільстві є акцентування духовної складової, пріоритету вищих цінностей людського існування. Розроблено концепцію тренінгу, що передбачає міждисциплінарний підхід, використання як духовних, національних і професійних традицій, так і сучасних досягнень філософії, психології, соціології; холістичний підхід до розвитку особистості; включення всіх аспектів розвитку особистості з домінантою духовної складової. Відповідно до концепції тренінгу сумісності екіпажу сформульовані організаційно-методичні принципи роботи тренінгових груп, методика і програма тренінгу, організаційна структура, сформований і підготовлений колектив тренерів, відібрані етюди і вправи, підготовлені тестові та роздаткові матеріали. Використовували широкий спектр тренінгових методик, більшість з них запозичили з літератури, проте в ході занять вони піддавалися модифікації та адаптації до конкретних умов занять, складом учасників, ситуації тренінгу. Ряд використаних етюдів і вправ були спеціально розроблені для даного тренінгу.

**Ключові слова:** безпека судна, людський фактор, психологічний тренінг, корпоративна культура, комунікативна компетентність.

**Evdokimova V. A., Deyeva O. V., Khayet L. G. INCREASE OF SAFETY OF THE SHIP BY MEANS OF PSYCHOLOGICAL TRAINING OF COMPATIBILITY OF CREW**

Growth of number of ships, their sizes and speeds, emergence of new dangers on the sea, increase of intensity in the international relations and system terrorism cause the increasing sharpness of questions of safety of the vessel. Loss of safety of the vessel, emergence of this or that threat or danger has the source as units, mechanisms and devices of the vessel, and «a human factor» which value with development of technology increases. Constantly becoming complicated processes of selection, preparation and professional development of seamen demand participation of a number of experts, including, psychologists. Fleet of the rich countries widely and constantly uses services of the qualified psychologists, the domestic fleet resorts to it in much smaller degree. To improve the interpersonal relations in crew of the vessel, it is possible to increase communicative competence of all his members by means of psychological training. The purpose of this work is justification of relevance of carrying out psychological training in crews of the ships, the description of the concept and a technique of trainings, their course and results, the received practical recommendations. Psychological training in crew of the ship is based taking into account features of its psychological atmosphere and corporate culture. Problems of psychological assistance are partly opposed each other, compete with each other, and partly promote each other, increasing overall effectiveness of training due to synergetic effects. Natural reaction to oppression of the highest needs of the person to please to animal needs in the western society is emphasis of a spiritual component, priority of the supreme values of human existence. The concept of training providing interdisciplinary approach, use as spiritual, national and professional traditions, and modern achievements of philosophy, psychology, sociology is developed; holistic approach to development of the

*personality; inclusion of all aspects of development of the personality with a dominant of a spiritual component. According to the concept of training of compatibility of crew the organizational and methodical principles of work of training groups are formulated; technique and program of training, organizational structure are developed; the group of trainers is created and prepared; etudes and exercises are selected; test and distributing materials are prepared. Used a wide range of training techniques. The majority of them was borrowed from literature, however during occupations they were exposed to modification and adaptation to specific conditions of occupations, structure of participants, a training situation. A number of the used etudes and exercises were specially developed for this training.*

**Keywords:** *safety of the vessel, human factor, psychological training, corporate culture, communicative competence.*

© Євдокимова В.А., Дєєва О.В., Хаст Л.Г.

Статтю прийнято  
до редакції 14.04.15

# ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ ПРИ ВИВЧЕННІ КУРСІВ «ГЛОБАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ ЗВ'ЯЗОК ДЛЯ ПОШУКУ ТА РЯТУВАННЯ» ТА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДНОВИХ СИСТЕМ РАДІО ТА СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ»

**Круглий Д.Г.**

*Херсонська державна морська академія*

*Ефективність реалізації компетентнісного підходу забезпечується рішенням сукупних задач, головними з яких є мотивація особистісного та професійного розвитку курсанта, формування у нього компетенцій щодо професійної діяльності в морській галузі. Проблеми компетентності спеціалістів у морській галузі сьогодні постають найгостріше, тому підвищення конкурентноспроможності молодих спеціалістів пов'язано з втіленням компетентнісного підходу у професійній підготовці. Метою статті є використання новітніх освітніх технологій для реалізації компетентнісного підходу при вивченні курсів «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» й «Експлуатація суднових систем радіо та супутникового зв'язку». У статті запропоновано використання новітніх освітніх технологій для реалізації компетентнісного підходу при вивченні курсів «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» й «Експлуатація суднових систем радіо та супутникового зв'язку». У статті доведена необхідність використання новітніх технологій для ефективної підготовки спеціалістів морської галузі, на основі компетентнісного підходу, з дисциплін «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» й «Експлуатація суднових систем радіо та супутникового зв'язку».*

**Ключові слова:** компетенції, компетентнісний підхід, інноваційні освітні технології.

**Постановка проблеми та її зв'язок із практичними задачами.** Сучасні випускники морських навчальних закладів України повинні відповідати єдиним міжнародним вимогам Міжнародної морської організації ІМО. Ці вимоги прописані в міжнародному кодексі дипломування моряків і несення вахти, в основу якого покладена багаторівнева підготовка морських спеціалістів на основі компетентнісного підходу. Для України така система підготовки кадрів є новою, вона ґрунтовно змінює організацію навчального процесу, забезпечує високий рівень кваліфікації випускників, сприяє підвищенню їх конкурентноспроможності.

Ефективність реалізації компетентнісного підходу забезпечується рішенням сукупних задач, головними з яких є мотивація особистісного та професійного розвитку курсанта, формування в нього компетенцій щодо професійної діяльності у морській галузі.

На це і спрямовано головну увагу керівництва держави, Міністерства освіти і науки України. Згідно Закону України «Про вищу освіту» запровадження нових підходів у навчальному процесі потребує зміни поглядів і підходів до викладання дисциплін морської галузі та переробки і переосмислення освітніх програм. Існуючі навчальні програми та плани базуються на застарілих стандартах морської освіти. Переосмислення та розробка нових навчальних підходів та планів є актуальним і своєчасним завданням [1].

У жовтні 2014 року, згідно наказу МОН за № 1148 від 7.10.2014 р. Херсонська державна морська академія отримала статус експериментального вищого навчального закладу, в якому було затверджено Заявку на проведення дослідно-експериментальної роботи з теми «Теоретико-методичні засади реалізації компетентнісного підходу в системі ступеневої підготовки фахівців морської галузі» та план її реалізації. За наказом експеримент буде проводитись у 2014–2018 роках спільно з Національною академією педагогічних наук України.

Для означення головних компетенцій, які повинні мати курсанти, необхідно оглянути загальноосвітній досвід.

**Аналіз останніх публікацій, в яких почато рішення проблеми та виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Результати навчання та компетенції в Болонській системі представлено як інструменти, які сприяють порівнянності та сумісності програм підготовки, дають змогу орієнтуватися на кінцевий результат.

Цьому питанню було приділено увагу такими дослідниками як В. И. Байденко, И. А. Зимней [2], Н. А. Максимова, С. В. Коршуновим та ін.

За класифікацією В. А. Девисилова, головними вимогами до компетенцій є:

- компетенції повинні формулюватися просто й однозначно розумітися усіма зацікавленими сторонами;
- компетенції повинні бути діагностичні та для їх діагностики може бути використано квалометричний інструментарій, який дає змогу ранжувати ступінь їх досягнення у виді бальної оцінки;
- перелік компетенцій повинен бути мінімізованим за ознаками достатності досягнення інтегральних цілей освіти та задач професійної діяльності, які визначено міжнародними і місцевими стандартами та документами;
- необхідно забезпечити відсутність повторювань смислової частини компетенції у вигляді різних формулювань у різних компетентнісних групах;
- рівномірно повинна забезпечуватись відсутність повторювань визначень компетенцій в стандартах різного рівня (бакалаврата, магістратури та ін.);
- стиль і термінологія визначень повинні бути однаковими для всіх стандартів;
- необхідно дотримуватись групування компетенцій за видами;
- слід розділяти компетенції на ті, які повинні бути сформовані у процесі освіти, та ті, на формування яких повинна орієнтуватись освітня програма [2].

Проблеми компетентності спеціалістів у морської галузі сьогодні постають найгостріше, тому підвищення конкурентноспроможності молодих спеціалістів пов'язано з втіленням компетентнісного підходу у професійній підготовці.

**Метою статті** є використання новітніх освітніх технологій для реалізації компетентнісного підходу при вивченні курсів «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» й «Експлуатація суднових систем радіо та супутникового зв'язку».

У статті запропоновано використання новітніх освітніх технологій для реалізації компетентнісного підходу при вивченні курсів «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» й «Експлуатація суднових систем радіо та супутникового зв'язку».

Використовуючи загальні компетентнісні вміння майбутніх фахівців морської галузі можливо виявити наступні компетенції новітніх фахівців:

- **загальнонаукові** (базові уявлення про основи наук);
- **соціально-особистісні** (здатність до критики та самокритики, взаємодія в команді, міжособистісні навички та вміння, здатність працювати в міжнародному середовищі);
- **інструментальні** (здатність до аналізу та синтезу, базові загальні знання, засвоєння основ базових знань з професії, усне та писемне спілкування рідною мовою, знання другої мови, елементарні комп'ютерні навички, розв'язання проблем, прийняття рішень);
- **системні** (вміння застосувати знання на практиці, здатність пристосовуватись до нових ситуацій, розуміння культури та звичаїв інших країн, лідерські якості, здатність працювати самостійно, турбота про якість) [3].

Запровадження нової парадигми освіти визначають необхідність корегування робочих програм фахових дисциплін, запровадження у навчальний процес активних та інтерактивних форм проведення занять у поєднанні з позааудиторною роботою з метою формування та розвитку професійних компетенцій курсантів. При цьому реалізація програм підготовки фахівців спрямована на розвиток особистісних якостей, а також формування загальнокультурних, загальнопрофесійних і професійно-спеціалізованих компетенцій у відповідності до міжнародних вимог.

За основу при складанні новітніх програм важливо застосовувати підходи з наступними рівнями [4]:

- знання – розрізняти, ідентифікувати;
- розуміння – інтегрувати, з'ясовувати;
- застосування – виконання, використання;
- аналіз – диференціювання, характеризування;
- синтез – генерувати, створювати;
- оцінка – перевіряти, узгоджувати.

Викладання дисциплін «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» та «Експлуатація суднових систем радіо та супутникового зв'язку» в Херсонській державній морській академії здійснюється за оновленими програмами, які складено відповідно до Правил Міжнародної Конвенції STCW 78/95 і Кодексу SYCW-CODE та відповідають вимогам програмам підготовки, дипломування і несення вахти моряків 1995 р., Кодексу торговельного мореплавства України, 1995 р., Міжнародній Конвенції про стандарти підготовки і дипломування моряків 1978/95, відповідають розділу (Розділ А-III/6) та IMO Model Course №7.01 Master and chief mate і Манільськими поправками от 6.06.2010 р.

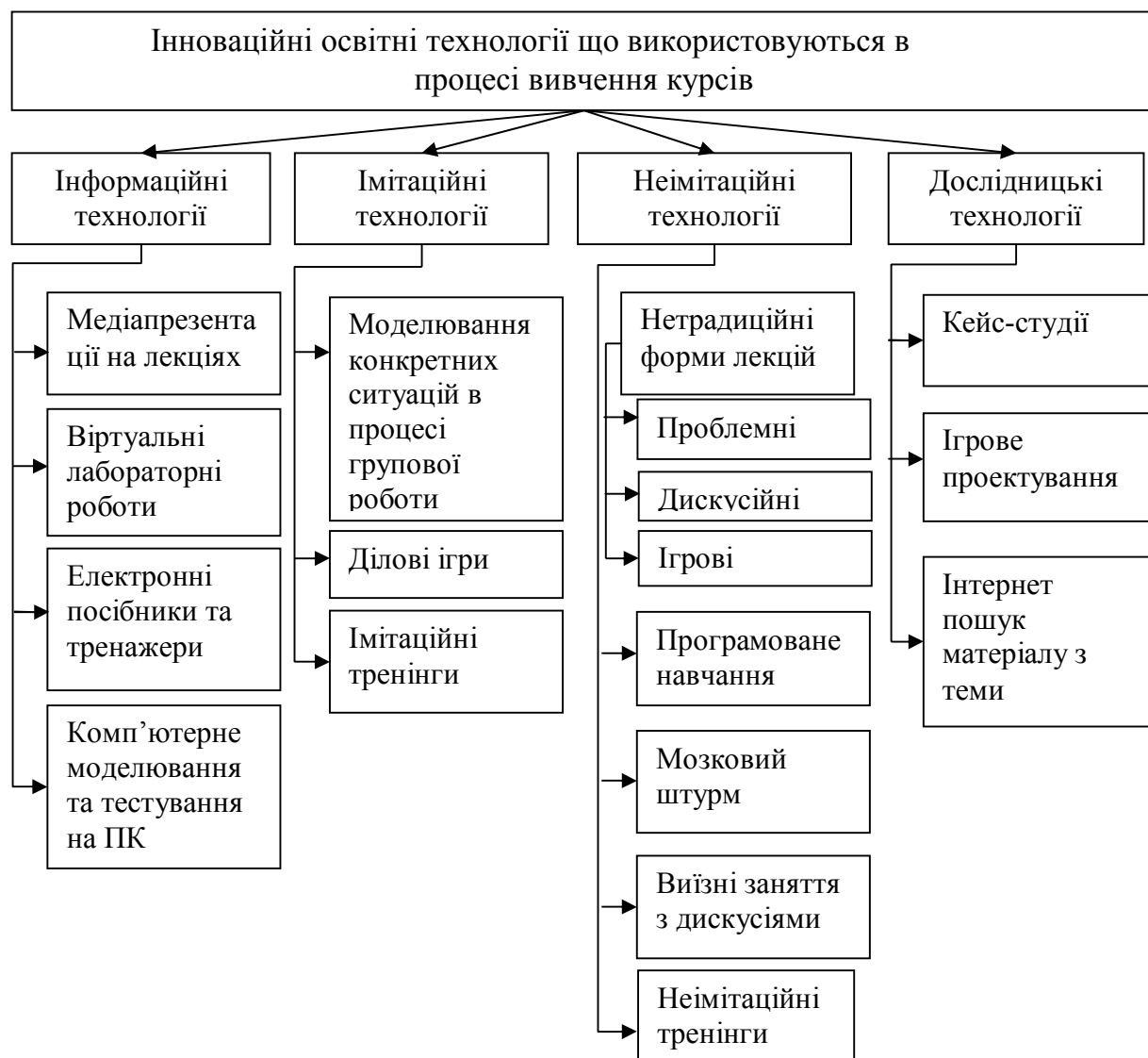


Рисунок 1 – Інноваційні освітні технології, що використовуються у процесі вивчення курсів

*Метою* вивчення дисциплін, відповідно до розроблених робочих програм та Правил Міжнародної Конвенції STCW 78/95 і Кодексу STCW-CODE, відповідно вимогам програми підготовки, дипломування і несення вахти моряків 1995 р., Кодексу

торговельного мореплавства України, 1995 р., Міжнародній Конвенції про стандарти підготовки і дипломування моряків 1978/95. Відповідає розділу (Розділ А-III/6) та IMO Model Course №7.01 Master and chief mate, є:

- формування у курсантів сучасних наукових уявлень про міжнародний глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування, його складові та чинники;
- формування у курсантів знань зв'язку між системами та засобами глобального морського зв'язку для пошуку та рятування та умінь їх використовувати, тобто формування компетентностей, які є базовими для формування спеціальних професійних компетентностей.

Для реалізації вимог програм, формування оптимальних умов для засвоєння навчального матеріалу курсантами, слід широко застосовувати інноваційні освітні технології під час проведення навчальних занять і у процесі позааудиторної роботи.

На рис. 1 представлено інноваційні освітні технології, які використовуються нами у процесі викладання дисциплін «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» й «Експлуатація суднових систем радіо та супутникового зв'язку» [5].

Зупинимось більш докладно на організації проведення практичних і лабораторних робіт. Форми організації навчальної діяльності курсантів при виконанні лабораторних і практичних робіт, що використовуються нами в процесі опанування курсів «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» й «Експлуатація суднових систем радіо та супутникового зв'язку» наведено на рис. 2 [6, 7]:



Рисунок 2 – Організація проведення практичних і лабораторних робіт

За наведеними прикладами різновиди у формі організації практичних і лабораторних робіт призводять до істотних особливостей в їх підготовці та методиці проведення. Ці особливості полягають в організації індивідуальної та групової поведінки курсантів.

Так, наприклад, при фронтальній формі проведення лабораторних занять найчастіше є інструктування навчальної групи викладачем в усній формі чи з використанням методичних вказівок, які вивчаються самостійно. При цикловій та індивідуальній формах організації практичних робіт загальне інструктування обмежується організаційними вказівками.

Виконання практичних робіт курсантами за цикловою формою організації пов'язано з керівництвом навчальною діяльністю в маленьких групах. У цьому випадку мала група – це об'єднання курсантів з метою досягнення необхідного результату.

Такі групи можуть бути формальними, які виділені викладачем та неформальними. Неформальні групи створюються на основі особистих переваг, при їх формуванні велику роль відіграють психологічні стимули для виконання завдань.

Функціональна організація малих груп може бути різною та є більш-менш доцільною у зв'язку з типом практичного завдання (рис. 3)

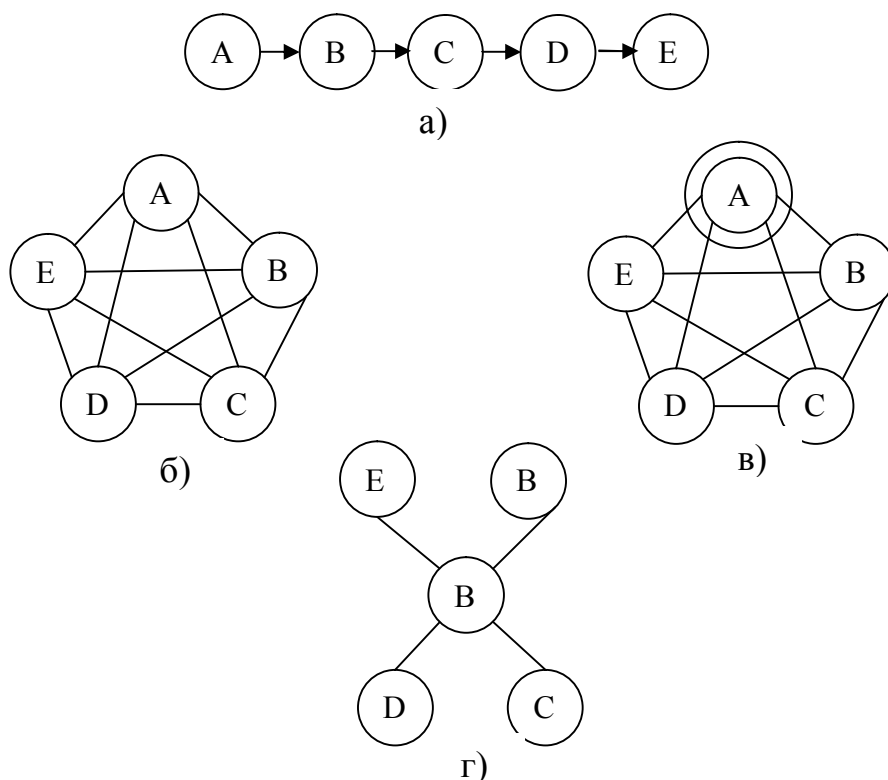


Рисунок 3 – Приклади організації невеликої групи:

а) – ланцюг; б) – повна мережа; в) – повна мережа при наявності лідера; г) – зірка

Принцип організації «ланцюг» (рис. 3а) можна використати тоді, коли практичне завдання потребує послідовного виконання ряду дій, які надаються різним курсантам, членам групи. Якщо за ходом виконання завдання члени групи пов'язані між собою, структура групи формує «мережу» (рис. 3б). У ній жоден не має переваги. Без лідера, групи, у більшості випадків, функціонують непродуктивно. Вони розпадаються чи самі висувають лідера. У цьому випадку формується модель «повна мережа з лідером» (рис. 3в). Якщо операції з виконання завдання виконуються незалежно одна від іншої, то ця топологія зібрана за принципом «зірка» (рис. 3г). При цьому член групи, який знаходиться в позиції «А», здійснює координацію дій інших, є керівником групи та її лідером [8, 9].

**Висновки та перспективи подальшої роботи по цьому напрямку.** Отримані результати, при використанні новітніх освітніх технологій і реалізації компетентнісного підходу, показують покращення засвоєння теоретичного матеріалу та використання на практиці набутих навичок при вивченні курсів «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» й «Експлуатація суднових систем радіо та супутникового зв'язку».

Для удосконалення засвоєння розглянутих дисциплін необхідна:

- зміна підходів і коригування робочих навчальних програм дисциплін на основі компетентнісного підходу;
- необхідно ефективне викладання фахових дисциплін у відповідності з оновленими програмами – це вимагає запровадження в навчальному процесі новітніх освітніх технологій, використання оптимальних педагогічних методів організації аудиторної та позааудиторної роботи.

Доведена необхідність використання новітніх технологій для ефективної підготовки спеціалістів морської галузі, на основі компетентнісного підходу з дисциплін «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» й «Експлуатація суднових систем радіо та супутникового зв'язку».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про вищу освіту» // Урядовий кур'єр. – 13.08.2014. – № 146.
2. Devisilov V. A. Standards of Higher Professional Education of Competence format – the structure and content / V. A. Devisilov // Higher education today. – 2008. – № 9.
3. Зимняя И. А. Ключевые компетентности как результативно-целевая основа компетентностного подхода в образовании / И. А. Зимняя – М. : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2004.
4. Bloom B. S., Engelhart M. D., Furst E. J., Hill W. H.; Krathwohl D. R. Taxonomy of educational objectives : The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain. – New York : David McKay Company, 1956.
5. Коркин А. М. Особенности инженерного образования морских радиоспециалистов / А. М. Коркин // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота. – 2013. – № 2/24. – С.107-120.
6. Кудрявцев Т. В. Психология технического мышления / Т. В. Кудрявцев. – М. : Педагогика, 1975. – 303 с.
7. Рогинский В. М. Азбука педагогического вуза : пособие для начинающих преподавателей технического вуза / В. М. Рогинский. – М. : Высшая школа, 1990. – 112 с.
8. Мелецinek А. Инженерная педагогика / А. Мелецinek. – М. : МАДИ (ТУ), 1998. – 185 с.
9. Басова Н. В. Педагогика и практическая психология / Н. В. Басова. – Ростов-на-Дону : Феникс, 1999.

## REFERENCES

1. Zakon Ukraïni «Pro vithu osvitu» // Uryadoviy kur'er. – 13.08.2014. – № 146.
2. Devisilov V. A. Standards of Higher Professional Education of Competence format – the structure and content / V. A. Devisilov // Higher education today. – 2008. – № 9.
3. Zimnyaya I. A. Klyuchevihe kompetentnosti kak rezul'tativno-celevaya osnova kompetentnostnogo podkhoda v obrazovanii / I. A. Zimnyaya – M. : Issledovatel'skiy centr problem kachestva podgotovki specialistov, 2004.
4. Bloom B. S., Engelhart M. D., Furst E. J., Hill W. H.; Krathwohl D. R. Taxonomy of educational objectives : The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain. – New York : David McKay Company, 1956.
5. Korkin A. M. Osobennosti inzhenernogo obrazovaniya morskikh radiospecialistov / A. M. Korkin // Izvestiya Baltijskoy gosudarstvennoy akademii ribbopromislovogo floga. – 2013. – № 2/24. – S.107-120.

6. Kudryavcev T. V. Psikhologiya tekhnicheskogo mihshleniya / T. V. Kudryavcev. – M. : Pedagogika, 1975. – 303 s.
7. Roginskiy V. M. Azbuka pedagogicheskogo vuza : posobie dlya nachinayutikh prepodavateley tekhnicheskogo vuza / V. M. Roginskiy. – M. : Vihsshaya shkola, 1990. – 112 s.
8. Melecinek A. Inzhenernaya pedagogika / A. Melecinek. – M. : MADI (TU), 1998. – 185 s.
9. Basova N. V. Pedagogika i prakticheskaya psikhologiya / N. V. Basova. – Rostov-na-Donu : Feniks, 1999.

**Круглый Д.Г. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЕЙШИХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА ПРИ ИЗУЧЕНИИ КУРСА «ГЛОБАЛЬНАЯ МОРСКАЯ СВЯЗЬ ДЛЯ ПОИСКА И СПАСЕНИЯ» И «ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВЫХ СИСТЕМ РАДИО И СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ»**

*Эффективность реализации компетентностного подхода обеспечивается решением совокупных задач, главными из которых являются мотивация личностного и профессионального развития курсанта, формирование у него компетенций по профессиональной деятельности в морской отрасли. Проблемы компетентности специалистов в морской отрасли сегодня стоят наиболее остро, поэтому повышение конкурентоспособности молодых специалистов связано с воплощением компетентностного подхода в профессиональной подготовке. Целью статьи является использование новейших образовательных технологий для реализации компетентностного подхода при изучении курсов «Глобальная морская связь для поиска и спасения» и «Эксплуатация судовых систем радио и спутниковой связи». В статье предложено использование новейших образовательных технологий для реализации компетентностного подхода при изучении курсов «Глобальная морская связь для поиска и спасения» и «Эксплуатация судовых систем радио и спутниковой связи». В статье доказана необходимость использования новейших технологий для эффективной подготовки специалистов морской отрасли, на основе компетентностного подхода, по дисциплинам «Глобальная морская связь для поиска и спасения» и «Эксплуатация судовых систем радио и спутниковой связи».*

**Ключевые слова:** компетенции, компетентностный подход, инновационные образовательные технологии.

**Kruglihyj D.G. USING MODERN EDUCATIONAL TECHNOLOGY IMPLEMENTATION COMPETENCE APPROACH WHEN STUDYING THE COURSE «GLOBAL MARITIME COMMUNICATIONS FOR SEARCH AND RESCUE» AND «OPERATION OF RADIO AND MARINE SATELLITE»**

*Effective implementation of competence approach provided total solution of problems, foremost of which is the motivation of personal and professional development of the student, the formation of his competences on professional activities in the marine industry. Problems competence of experts in the maritime industry today faces the most acute because increasing competitiveness of young specialists associated with the embodiment competency approach in training. The article is the use of new educational technologies for the implementation of competence approach in studying the course «Global Marine communications for search and rescue» and «operation of ship radio systems and satellite communications». The article suggests the use of new educational technologies for the implementation of competence approach in studying the course «Global Marine communications for search and rescue» and «operation of ship radio systems and satellite communications.» The article proved the need for the latest technology for effective training specialists maritime industry on the basis of competence approach, with subjects «Global Marine communications for search and rescue» and «operation of ship radio systems and satellite communications».*

**Keywords:** competence, competence approach, innovative educational technology.

© Круглый Д.Г.

Статтю прийнято  
до редакції 29.04.15

## КОММУНИКАТИВНАЯ МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ МОРСКОМУ АНГЛИЙСКОМУ ЯЗЫКУ КАК ЭЛЕМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА

*Кудрявцева В.Ф.*

*Херсонская государственная морская академия*

*Компетентностный подход, экспериментально внедряемый в Херсонской государственной морской академии, вносит свои коррективы в практику коммуникативного обучения английскому языку профессиональной направленности. Компетентностный подход выстраивается вокруг понятия «коммуникативная компетентность», что становится определенным вызовом для преподавателей эффективно работающих в условиях коммуникативного обучения, целью которого аналогична – развить коммуникативные умения студентов. В связи с этим, целью данной статьи является осуществление сравнительного анализа компетентностного и коммуникативного подходов к обучению морского английского языка для решения стоящей перед нами задачи, внедрить компетентностный подход. В статье обращается внимание на отдельные практические аспекты внедрения компетентностного подхода в условиях коммуникативного обучения морского английского языка. Отмечая необходимость фокусированной работы над такими элементами компетентностного подхода, дополняющими коммуникативное обучение, как вычленение базовых коммуникативных компетенций для решения практических задач, определение критериев оценивания компетенций и процедуры демонстрации компетенций; автор делает вывод, что коммуникативный и компетентностный подходы являются взаимодополняющими с небольшим набором отличительных характеристик. Формула эффективного комбинирования компетентностного и коммуникативного подходов в обучении морскому английскому языку – высокое мастерство коммуникативного обучения плюс адекватно сформулированные и оцененные коммуникативные компетенции, требуемые современной морской индустрией.*

**Ключевые слова:** компетентностный подход, коммуникативное обучение, финальная задача, коммуникативная компетенция

**Постановка проблемы.** Компетентностный подход с каждым годом приобретает все большую популярность. И это неудивительно, поскольку одним из требований этого подхода является не изолированное изучение учебного материала, а связь приобретаемых умений с социально-профессиональным контекстом. В изучении английского языка профессиональной направленности, в частности морского английского языка, соблюдение этого требования является ключевым. В ряде высших учебных учреждений Европы, Северной Америки, Австралии компетентностный подход к обучению, особенно эффективный в профессиональном образовании, используется уже десятки лет, в Украине наша академия является первым высшим учебным заведением со статусом экспериментальной площадки по внедрению компетентностного подхода в морском образовании.

**Актуальность исследования.** Внедрение компетентностного подхода вносит свои коррективы в практику обучения английскому языку, поскольку основным требованием этого подхода является акцент на результате обучения. Причем результатом является не сумма усвоенной информации, а наличие коммуникативной активности – способности человека, позволяющей ему эффективно действовать в различных проблемных ситуациях. Компетентностный подход предполагает обучение языку в ситуациях, где для выполнения определенной социальной / профессиональной роли и решения определенной задачи нужны конкретные умения, которые можно достаточно точно предположить и определить. Другими словами, определенные ситуации в повседневной и профессиональной жизни требуют конкретных языковых форм. Это, в свою очередь, позволяет разработчикам учебного курса на основе компетентностного подхода точно определить лексику и грамматические структуры, необходимые для таких ситуаций, и включить их в учебные модули. В течение ряда лет нами успешно внедряется коммуникативный подход, рекомендованный Международной морской организацией в Модельном курсе 3.17 «Морской английский язык», в то же время экспериментальный

статус нашего учебного заведения ставит перед нами задачи определить сходства и различия коммуникативного и компетентностного подходов с целью их совместного практического применения в обучении курсантов.

**Связь авторской наработки с важными научными и практическими задачами.** Компетентностный подход выстраивается вокруг понятия «коммуникативная компетентность» и, соответственно, его цель – развитие функциональных коммуникативных умений студентов. Внедрение компетентностного подхода на уровне всего высшего учебного заведения представляется определенным вызовом для преподавателей кафедр, несколько лет эффективно работающих в условиях коммуникативного обучения, основной целью которого также является развитие коммуникативных умений студентов. Постановка новых задач требует осмысленного понимания сходных и отличительных характеристик компетентностного и коммуникативного подхода к обучению английского языка профессиональной направленности и, следовательно, в организации целенаправленной научно-методической работы преподавателей по внедрению компонентов компетентностного подхода, являющихся его отличительными характеристиками.

**Анализ последних современных исследований и публикаций.** Теоретические аспекты компетентностного обучения иностранному языку освещены в работах значительного количества исследователей.

Гриффитс У. подчеркивает, что в компетентностном обучении языку студенты должны демонстрировать, что они способны использовать язык для решения задач реального мира. Язык должен быть связан с социальным контекстом вместо изолированного изучения [1, С. 1]. Студенты учатся использовать язык в аутентичных ситуациях, с которыми можно реально встретиться вне учебного класса. Необходимость перенесения акцента со знаний о языке на способность применять язык требует значительных изменений в учебном процессе, для того чтобы компетентностное обучение было успешным.

Нквентицама К., обращая внимание на различия между знаниями, получаемыми в классе, и использованием языка в реальном мире, для которого этот язык предназначен, очерчивает четыре компонента компетентностного подхода: изучение потребностей студентов, отбор компетенций, целевое обучение, оценивание уровня овладения компетенциями [2, С. 520].

О фокусировании на результатах обучения, то есть на конкретных языковых умениях, необходимых для функционирования в конкретном контексте, как основной характеристике компетентностного подхода пишет Ричардз Д. [3, С. 151]. С его точки зрения, начальным этапом планирования учебной программы является определение задач, которые придется решать студенту в конкретной обстановке, за которым следует определение компетенций для успешного выполнения этих задач.

Практически то же отмечает Тер-Авакян И. В., говоря о результатах обучения, которыми являются не сумма усвоенной информации, а наличие коммуникативной активности [4, С. 136], позволяющей ему эффективно действовать в различных проблемных ситуациях.

Большинство исследователей сходятся в том, что результаты обучения языку, иными словами, коммуникативные компетенции, должны иметь долгосрочный характер и сохранять свою значимость за пределами системы образования.

**Цель статьи** – осуществить сравнительный анализ компетентностного и коммуникативного подходов для выявления их схожих и различных характеристик с целью решения стоящей перед нами задачи внедрить компетентностный подход.

**Определение нерешенных вопросов, которым посвящается статья.** Изучение теоретических положений компетентностного подхода позволило нам определить ключевые элементы этого подхода, которые необходимо учесть в связи со спецификой нашей учебной деятельности. Такими элементами являются определение

коммуникативных компетенций, необходимых студентам факультета «Судовождение» для работы на судах; составление рабочей программы с учетом разработанного перечня компетенций; определение критериев овладения устными и письменными коммуникативными компетенциями; разработка системы оценивания компетенций. Однако, становится очевидным, что практическую разработку этих компонентов и их последующее необходимо осуществлять, учитывая эффективность нашего опыта использования коммуникативного подхода.

**Изложение основного материала.** Внедрение компетентностного подхода преподавателям английского языка нашего учебного учреждения облегчено тем, что компетентностный подход и коммуникативное обучение в том виде, в котором оно применяется нами, во многом похожи. Модельный курс 3.17 «Морской английский язык» Международной морской организации дает перечень основных характеристик коммуникативного подхода, среди которых: изучается естественная речь повседневного / профессионального общения; в центре обучения – студент; главное внимание уделяется содержанию и смыслу общения; используемые языковые средства обуславливаются конкретным коммуникативным контекстом и т.п. Практически в унисон звучат аналогичные характеристики компетентностного подхода: студенты учатся пользоваться языком в аутентичных ситуациях; студент играет ключевую роль в учебном процессе; студенты должны демонстрировать умение использовать язык для эффективного общения и т.д. Схожих характеристик компетентностного и коммуникативного подхода достаточно много, поэтому очень важно вычленение отличительных элементов компетентностного подхода для его корректного внедрения.

В основу разработки курса изучения морского английского языка профессиональной направленности, ориентированного на достижение курсантами профессиональных умений, нами положены следующие общеизвестные факторы: 1) четкие и измеримые цели обучения; 2) учебная рабочая программа, основу которой составляет перечень коммуникативных умений и сопутствующие им лексико-грамматические явления; 3) модульное обучение, благодаря чему необходимые для курсантов коммуникативные компетенции поделены на части с набором профессиональных умений, которые необходимо усвоить; 4) учебные пособия, которые полностью соответствуют рабочей учебной программе; 5) регулярное оценивание достигнутых результатов, то есть проверка уровня овладения определенным набором профессиональных умений.

То есть, мы убеждены, что в компетентностном подходе начальный шаг в составлении программы курса иностранного языка – определение задач, которые студент должен выполнять в конкретной профессиональной ситуации и, соответственно, языковые элементы (лексика и грамматика), которые должны быть правильно применены. Затем формулируются компетенции для успешного решения этих задач. То же осуществляется и в коммуникативном подходе, но определяются коммуникативные умения. Как в компетентностном, так и коммуникативном подходе компетенция или умение понимается как финальная задача в конце учебного модуля. Компетентностный подход в обучении языку строится вокруг понятия «коммуникативная компетентность» и имеет целью функциональные коммуникативные умения / компетенции студентов, что и является объединяющей характеристикой обоих подходов. Студентов обучают только тем языковым формам и коммуникативным умениям, которые необходимы им для выполнения функций в ситуациях профессионального общения.

Например, в учебном модуле «Постановка на якорь» рабочей учебной программой определено несколько компетенций: читать условные обозначения на морских картах; описывать якоря, якорное оборудование и якорные стоянки; отдавать команды при постановке на якорь; вести переговоры по УКВ при постановке на якорь. Они являются финальными задачами, которые каждый студент должен выполнить для овладения определенными компетенциями. Эти компетенции представлены в начале каждого

учебного модуля в наших учебных пособиях и детализированы в вопросах для самопроверки в конце учебного модуля. Компетенции – это практическое применение языка в ситуативном контексте.

Правильно сформулированные компетенции включают в себя несколько компонентов. Во-первых, они описывают знания и умения, которые могут быть применены в новых и сложных / комплексных ситуациях, т.е. будут полезны студенту в будущем. Например, способность понимать команды в экстренных ситуациях важна и необходима студентам в их работе на судне. Во-вторых, каждая компетенция должна иметь четкие критерии выполнения, что позволит студентам знать, что они умеют, и что необходимо улучшить. И наконец, компетенция должна быть персонализирована. В прошлом году к каждому учебному модулю нами дополнительно сформулированы устные и письменные компетенции, подлежащие оцениванию, которые в этом учебном году проходят апробирование. Каждая компетенция нами идентифицирована, подразделена на соответствующие мини-умения.

Компетентностный подход требует, чтобы в центре учебного процесса был студент и то, что он умеет делать. Это не ново для тех, кто обучает студентов на основе коммуникативной методики. Способности выполнять лексические и грамматические упражнения, читать или слушать текст и отвечать на вопросы по его содержанию недостаточно для измерения коммуникативной компетентности. Студенты должны уметь говорить и писать в пределах определенных учебных тем, а также применять эти умения в новых ситуациях, то есть владеть развитыми продуктивными умениями, как требуется в коммуникативном обучении, а также демонстрировать, что они могут выполнять конкретные задачи, которые им придется решать в реальном профессиональном мире, используя английский язык. Компетенции являются и учебными стандартами, и умениями, необходимыми для реальной профессиональной деятельности.

Вместо преимущественного внимания к знаниям, компетентностное и коммуникативное обучение строится вокруг умений, необходимых для выполнения конкретных задач. Преподаватели английского языка нашего учебного заведения, обучающие курсантов на основе принципов и методов коммуникативного подхода, обучены тому, что каждое занятие английского языка преследует только одну практическую учебную цель, ориентированную на овладение каждым студентом конкретного коммуникативного умения к концу данного занятия. Для формулировки учебных целей занятия мы применяем таксономию учебных целей Блума Б., в которой определено шесть уровней мышления, используемых и в Модельном курсе 3.17 «Морской английский язык» Международной морской организации. Например, обратим внимание на компетенцию «Описывать метеоусловия; принимать навигационные предупреждения; сообщать о повреждениях, причиненных плохой погодой». Какие умения потребуются для выполнения такой задачи? Их много, а поэтому на овладение данной компетенцией в рабочей учебной программе отводится 20–30 аудиторных часов.

В разработанной и используемой нами структуре учебного занятия по английскому языку заключительный этап занятия называется «Применение», в процессе которого преподаватель создает реальную ситуацию, в которой курсант должен применить то или иное умение. Учебные результаты каждого практического занятия по английскому языку постепенно превращаются в мини-умения, а они, в свою очередь, приводят студента к умениям решать прикладные задачи способами английского языка. Например, в учебном модуле «Еда» первого учебного семестра студенты учатся называть различные продукты, описывать их количество и качество, участвовать в дискуссиях о кухнях мира на основе прочитанных / прослушанных текстов, но главное, для чего нужны мини-умения, это финальная задача «Закажи еду у повара на судне / в кафе».

Преподаватель становится фасилитатором / посредником. Его неправильно называть преподавателем, потому что он не преподает, не преподносит знания, а способствует овладению студентами умениями: обеспечивает студентов материалами,

заданиями, возможностью практиковать умения через различные режимы взаимодействия. Значительное время требуется для предоставления студентам конкретной, целенаправленной и персонализированной поддержки. Роль преподавателя заключается в том, что он исправляет студентов немедленно; оказывает позитивную поддержку; осознает потребности студентов; адаптирует упражнения и программу под потребности студентов. Такая роль преподавателя одинаково важна и нужна в условиях коммуникативного и компетентностного обучения.

Планирование становится центральной частью учебного процесса. Преподаватели должны уделить много времени разработке упражнений и заданий, относящихся к конкретным умениям, необходимым для выполнения требований компетенции. В этом кроется одно из главных препятствий к успешной широкомасштабной реализации как компетентностного, так и коммуникативного подхода, а именно неготовность или невозможность для преподавателей осуществлять качественную и последовательную разработку планов занятий. Качество и аутентичность материалов приобретают первостепенную важность для успешного обучения.

Учебные пособия на коммуникативной основе, разработанные преподавателями кафедры для каждого учебного семестра, полностью соответствуют рабочей учебной программе. Фактически, иногда происходит обратный процесс: использование учебных пособий приводит к изменению рабочей программы, поскольку студенты, особенно старших курсов, комментируют изучаемые учебные материалы, вносят предложения по их содержательному усовершенствованию, основываясь на своем опыте прохождения практики на судах. В таких случаях, обновленная программа обучения соответствует содержанию учебных пособий. Каждый учебный модуль начинается с презентации учебных умений, которыми студентам предстоит овладеть, и заканчивается вопросами для самопроверки с целью самостоятельного определения студентами уровня овладения умениями. Внедрение компетентностного подхода требует обязательного пересмотра структуры учебных модулей и определение в ней места компетенции как финальной задачи. Регулярное оценивание как промежуточных, так и финальных учебных результатов, то есть уровня овладения компетенциями, являющимися комплексными умениями, играет более существенную роль в компетентностном обучении по сравнению с коммуникативным (табл. 1).

Таблица 1 – Различия в оценивании в условиях коммуникативного и компетентностного подходов

| <i><b>Оценивание в условиях коммуникативного подхода</b></i>                                                                                                                                        | <i><b>Оценивание в условиях компетентностного подхода</b></i>                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Оценка за выполненное задание. Заданием может быть опрос, домашняя работа, проект или что-нибудь еще, что студент должен выполнить                                                                  | Оценка за конкретную компетенцию. Студентов можно оценивать в процессе овладения компетенцией, но это не учитывается при окончательном оценивании                                                |
| Оценивание базируется на среднеарифметической системе. Критерии достижения нечеткие                                                                                                                 | Конкретные критерии и стандарты предоставляются студентам заранее                                                                                                                                |
| Традиционные оценки могут быть выставлены за разные вещи: учебные достижения, усилия студентов, активность, выполнение отдельных заданий и могут включать штрафные санкции или дополнительные баллы | Оценки выставляются только за учебные достижения. Информация об усилиях и поведении может сообщаться, но не является частью оценки за компетенцию. Нет штрафных санкций и дополнительных баллов. |
| Каждая оценка, независимо, за что она была выставлена, включается в определение итоговой оценки. Итоговая оценка определяет переход студента на следующий уровень.                                  | Студенты переходят к изучению следующей компетенции только после овладения предыдущей                                                                                                            |

В коммуникативном обучении оценивание в конце учебного модуля касается преимущественно отдельных тематических умений (знание лексики, грамматики, умение понимать текст, написать эссе и т.п.), а общая оценка за финальный тест является среднеарифметическим числом. В компетентностном подходе значительный вес приобретают тесты на проверку овладения формирующими умениями, цифровое оценивание которых не обязательно, а важным становится суммативное оценивание в конце учебного модуля за овладение компетенцией. Студент может перейти к следующей компетенции только после овладения предыдущей, что на данный момент для преподавателей английского языка является наиболее сложным элементом компетентностного обучения.

Преподавателями кафедры разработана система оценивания в условиях компетентностного подхода, прошедшая семестровую апробацию (табл. 2).

Таблица 2 – Система оценивания в условиях компетентностного подхода

| <i>Вид работы</i>                                                          | <i>Баллы за тест</i> | <i>Тестов в семестр</i> | <i>Баллы за семестр</i> |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Выполнение теста Stop&Check<br>(в конце каждого модуля)                    | 5                    | 5                       | 25                      |
| Выполнение аттестационного теста Progress Test<br>(один раз за два месяца) | 10                   | 2                       | 20                      |
| Овладение компетенцией<br>(в конце каждого модуля)                         | 5                    | 10                      | 50                      |
| Поощрительные виды работы (конференции, олимпиады, проекты др.)            | 5                    | 1                       | 5                       |
| Всего за семестр                                                           |                      |                         | 100                     |

Результаты апробации системы оценивания однозначно свидетельствуют о целесообразности ее значительной корректировки: сокращения количества компетенций, уменьшения количества письменных компетенций, пересмотра места и содержания тестов Stop&Check.

Поскольку демонстрация компетенций предполагает применение говорения или письма как продуктивных коммуникативных умений, необходимы четкие критерии оценивания коммуникативной компетенции. В качестве первичного шага нами предложены критерии оценивания письменных компетенций (табл. 3), которыми могут быть разработка инструкции, описание процедуры, составление делового письма, отчет об аварии и т.п.

Таблица 3 – Критерии оценивания письменных коммуникативных компетенций

| <i>Критерии</i>               | <i>Баллы</i> | <i>Обоснование</i>                                                              |
|-------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Содержание/передача сообщения | 1/0          | Коммуникативная цель достигнута / не достигнута                                 |
| Структура, стиль              | 1/0          | Стиль соответствует / не соответствует задаче                                   |
| Лексика                       | 1/0          | Адекватное использование / школьный язык (тематическая лексика не используется) |
| Точность:                     | 2/0          | Количество ошибок                                                               |
| Грамматика                    | 1/0          | $\leq 2$ / $>2$                                                                 |
| Spelling                      | 1/0          | $\leq 2$ / $>2$                                                                 |

Аналогично предложены критерии оценивания устных компетенций.

Фактически, в компетентностном подходе по сравнению с коммуникативным отсутствует необходимость проводить зачеты и экзамены, так как его базовое отличие – овладение студентом компетенции с последующим оцениванием. С нашей точки зрения, оценки тоже излишни: студент или компетентен в решении определенной коммуникативной задачи, то есть владеет данным умением, или некомпетентен. Возвращаясь к выше приведенной компетенции учебного модуля «Постановка на якорь», студент или умеет читать условные обозначения на морских картах, или не умеет. Компетенции не являются только заданиями для выставления оценок; они – практическое применение языка в контексте [1, 2].

Роль студентов в обоих подходах тоже идентична: предполагается осознание ими необходимых для их профессии прикладных коммуникативных компетенций. Они активные участники собственного обучения, учатся мыслить критически, адаптировать и переносить знания и умения в различные ситуации. Поскольку стандарты и ожидания четкие и конкретные, студенты знают, что уже выучено и что еще предстоит изучить. Успешное освоение компетенций / умений зависит от умелой организации взаимодействия в классе для обеспечения вовлеченности студентов. В условиях традиционной классно-урочной системы сложно обеспечить одновременное достижение каждой компетенции всеми студентами группы, чтобы переходить к изучению следующей компетенции только после овладения предыдущей, что является одним из положений компетентностного подхода. Это положение достаточно сложно реализовать и в коммуникативном обучении английскому языку, так как студенты преимущественно общаются устно для достижения коммуникативного умения, для чего им необходимо вовлечение других студентов, в отличие от многих других учебных дисциплин, где задания выполняются преимущественно в письменной форме индивидуально.

**Выводы.** Коммуникативный и компетентностный подход являются взаимодополняющими. Схожих характеристик между ними больше, чем отличительных. Незначительные различия в базовых элементах предполагают наличие дополнительных возможностей для фокусированной разработки элементов, нехарактерных для коммуникативного обучения. Простая формула эффективного комбинирования компетентностного и коммуникативного подхода – высокое мастерство коммуникативного обучения, плюс адекватно сформулированные и оцененные компетенции, требуемые современной морской индустрией.

Главный вызов, характеризующийся особым постоянством, – профессиональное отношение и выполнение своей работы преподавателями английского языка. Изучение теоретических положений, в данном случае, компетентностного подхода, каким бы целевым оно не было, не может превратиться в эффективные методические приемы и методы преподавателя без его осознанной, системной и вовлеченной работы.

**Перспективы дальнейших исследований.** Внедрение компетентностного подхода на последующих этапах предусматривает разработку адекватной системы оценивания коммуникативных компетенций студентов, обновление рабочих учебных программ с учетом результатов апробации письменных и устных компетенций к учебным модулям, определить четкие критерии оценивания компетенций, демонстрируемых курсантами, и оптимальную процедуру этих демонстраций и обучение преподавателей английского языка прикладным аспектам компетентностного подхода. Необходимо разработать способы более индивидуализированной организационно-методической поддержки новых преподавателей и тех, кто испытывает значительные трудности в практической реализации теоретически известных положений коммуникативного и компетентностного подхода. Все принципы, правила и требования коммуникативного подхода в нашем учебном заведении определены, в последующий период то же предстоит сделать относительно компетентностного подхода.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Griffith W. I. Introduction to Competency-Based Language Teaching / W. I. Griffith // Mextesol Journal. – 2014. – Vol. 38, No. 2. – P. 5-12.
2. Nkwetisama C. M. The Competency Based Approach to English Language Education and the Walls between the Classroom and the Society in Cameroon : Pulling Down the Walls // Theory and Practice in Language Studies. – Finland : Academy publisher. – 2012. – Vol. 2, No. 3. – P. 516-523.
3. Richards J. Approaches and Methods in Language Teaching / J. Richards, T. Rodgers. – Cambridge University Press, 2014. – 317 с.
4. Тер-Авакян И. В. Компетентностная модель языкового обучения в техническом вузе / И. В. Тер-Авакян // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. – 2010. – Выпуск № 1, том 45. – С. 136-139.

## REFERENCES

1. Griffith W. I. Introduction to Competency-Based Language Teaching / W. I. Griffith // Mextesol Journal. – 2014. – Vol. 38, No. 2. – P. 5-12.
2. Nkwetisama C. M. The Competency Based Approach to English Language Education and the Walls between the Classroom and the Society in Cameroon : Pulling Down the Walls // Theory and Practice in Language Studies. – Finland : Academy publisher. – 2012. – Vol. 2, No. 3. – P. 516-523.
3. Richards J. Approaches and Methods in Language Teaching / J. Richards, T. Rodgers. – Cambridge University Press, 2014. – 317 с.
4. Ter-Avakyan I. V. Kompetentnostnaya modelj yazikovogo obucheniya v tekhnicheskom vuze / I. V. Ter-Avakyan // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. – 2010. – Vihpusk № 1, tom 45. – S. 136-139.

### **Кудрявцева В.Ф. КОМУНІКАТИВНА МЕТОДИКА НАВЧАННЯ МОРСЬКОЇ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ ЯК ЕЛЕМЕНТ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ**

*Компетентнісний підхід, що експериментально впроваджується в Херсонській державній морській академії, вносить свої корективи у практику комунікативного навчання англійської мови за професійним спрямуванням. Компетентнісний підхід вибудовується навкруги поняття «комунікативна компетентність», що стає певним викликом для викладачів, хто ефективно працює в умовах комунікативного навчання, мета якого аналогічна – розвивати комунікативні уміння студентів. У зв'язку з цим, метою даної статті є здійснення порівняльного аналізу компетентнісного та комунікативного підходів до навчання морської англійської мови для вирішення завдання, впровадити компетентнісний підхід, що стоїть перед нами. У статті звертається увага на окремі практичні аспекти впровадження компетентнісного підходу в умовах комунікативного навчання морської англійської мови. Відмічаючи необхідність фокусованої роботи над такими елементами компетентнісного підходу, що доповнюють комунікативне навчання, як вичленення базових комунікативних компетенцій для розв'язання практичних задач, визначення критеріїв оцінювання компетенцій і процедури демонстрації компетенцій; автор робить висновок, що комунікативний і компетентнісний підходи є взаємодоповнюючими з невеликим набором відмітних характеристик. На думку автора, формула ефективного комбінування компетентнісного та комунікативного підходів до навчання морської англійської мови – висока майстерність організації комунікативного навчання плюс адекватно сформульовані та оцінені комунікативні компетенції, що вимагаються сучасною морською індустрією.*

**Ключові слова:** компетентнісний підхід, комунікативне навчання, фінальна задача, комунікативна компетенція.

**Kudryavceva V.F. COMMUNICATIVE METHODS OF TEACHING ENGLISH AS A MARITIME ELEMENT OF THE IMPLEMENTATION OF THE COMPETENCY APPROACH**

*Competency-based approach being implemented experimentally at Kherson State Maritime Academy seeks for adjustments to the communicative teaching of English for specific purposes. Competency-based approach is built around the notion «communicative competence» that sets certain challenges for English teachers who are efficient with communicative teaching the aim of which is similar – to develop students' communicative skills. Thereby, the aim of this article is comparative analysis of competency-based and communicative approaches to teaching maritime English for fulfilling the task of having the competency-based approach implemented. Some applied aspects of competency-based approach implementation within the framework of teaching maritime English communicatively are paid attention to. Emphasizing the necessity of focused work over such elements of competency-based approach that complement communicative teaching as designing basic communicative competencies for solving practical tasks, defining criteria for competencies assessment and procedure of demonstrating competencies mastery by students, the author comes to the conclusion that communicative and competency-based approaches are complementary with a brief list of distinctive characteristics. In the author's opinion, the formula for efficient combination of competency-based and communicative approaches to teaching maritime English – perfect mastery of communicative teaching plus adequately formulated and assessed communicative competencies required by modern maritime industry.*

**Keywords:** *competency-based approach, communicative teaching, final task, communicative competency.*

© Кудрявцева В.Ф.

Статтю прийнято  
до редакції 04.05.15

# **КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ РОБОТИ ЗА ТЕМОЮ «ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТІСТНОГО ПІДХОДУ В СИСТЕМІ СТУПЕНЕВОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ» У ХЕРСОНСЬКІЙ ДЕРЖАВНІЙ МОРСЬКІЙ АКАДЕМІЇ НА 2014 – 2018 РОКИ**

**Кулікова Л.Б.**

*Херсонська державна морська академія*

*У даній статті піднімається проблема створення конкурентоспроможної системи професійної освіти та підвищенні якості підготовки фахівців морської галузі в Україні. Описується підготовча робота до проведення науково-методичного експерименту, зроблена науково-педагогічним колективом академії. Сформульовано концептуальні засади та підходи до організації та проведення дослідно-експериментальної роботи в навчальному процесі. Визначено такі важливі поняття: як предмет, об'єкт, мета, концепція, гіпотеза та завдання експериментально-дослідної роботи. Виділено основні положення, які складають теоретичні та методичні основи навчання та реалізації нової методичної системи професійної підготовки курсантів у даному експерименті. Описується трирівневий підхід контролю набутих курсантами знань і професійних навичок.*

**Ключові слова:** компетентнісний підхід, науково-методичний експеримент, морська професійна освіта, зміст, інноваційні методи, навчальні модулі, робочі, навчальні плани та програми.

**Вступ.** Міжнародний досвід свідчить про необхідність забезпечення компетентісно спрямованої, якісної освіти, що відповідає освітнім запитам студентів, дозволяє їм вільно проявляти свої здібності та таланти.

Саме тому реформування освіти в Україні спрямоване на створення оптимальних умов навчання і виховання всебічної розвиненої, духовно багатой та творчо обдарованої особистості, здатної і готової до життя в конкурентоспроможному суспільстві до прийняття відповідальних рішень в умовах вільного вибору. Освіта повинна забезпечити розвиток індивідуальності людини як особистості та найвищої цінності суспільства на основі виявлення її задатків, здібностей, обдарованості і талантів.

Характерною залишається застарілість наявних і відсутність сучасних стандартів у сфері підготовки фахівців. Пілотні проекти із розроблення професійних та оновлення освітніх стандартів залишаються поодинокими і не мають системного характеру. Як наслідок, більшість кваліфікацій, які присвоюються в Україні, не відповідають міжнародним критеріям щодо забезпечення якості, що ускладнює їх визнання на міжнародному рівні.

Актуальними залишаються проблеми регулювання відносин та інституційного забезпечення процесів, пов'язаних із визначенням і прогнозуванням вимог до компетентності працівників, оновленням існуючих та розробленням нових кваліфікацій, оцінюванням і визнанням результатів навчання.

Досягнення високої якості професійної освіти є головною метою кожного вищого навчального закладу.

Керуючись завданнями декларацій і комюніке Болонського процесу, національна система вищої освіти, головна мета якої – реалізація можливостей формування у випускника вищого навчального закладу соціально та професійно важливих знань, умінь, навичок та компетенцій, має сьогодні вирішувати вимоги національного ринку праці та Європейського співтовариства.

Сьогодні більшість навчальних закладів України працює над створенням власної конкурентоспроможної системи професійної освіти, ця проблема є актуальною і для нашого навчального закладу.

Розробка власної конкурентоспроможної системи професійної освіти академії, яка охоплює всі види діяльності академії та спрямована на використання матеріальних

(технічних) і людських ресурсів для найбільш ефективного задоволення потреб курсантів та роботодавців, стане одним із пріоритетних напрямків діяльності професорсько-викладацького складу.

Враховуючи поставлену задачу: виведення нашого навчального закладу в перелік визнаних в Європі та світі морських навчальних закладів – нам необхідно ґрунтовно змінити підхід до організації навчально-виховного процесу в академії.

Саме потреба у підвищенні якості професійної підготовки фахівців морської галузі визначає **актуальність даного дослідження**.

**Мета роботи** – охарактеризувати концептуальні засади проведення дослідно-експериментальної роботи. **Завдання** – проаналізувати підходи вчених і сформулювати концептуальні засади проведення дослідно-експериментальної роботи при навчанні майбутніх фахівців морської галузі.

**Основна частина.** У жовтні 2014 року в Херсонській державній морській академії відбулась значна подія, в певній мірі історичного характеру. Згідно наказу МОН за № 1148 від 7.10.2014 р. академія отримала статус експериментального вищого навчального закладу, в якому було затверджено Заявку на проведення дослідно-експериментальної роботи за темою «Теоретико-методичні засади реалізації компетентнісного підходу в системі ступеневої підготовки фахівців морської галузі» та План її реалізації.

Було встановлено, що експеримент буде проводитись у 2014–2018 роках спільно з Національною академією педагогічних наук України.

Слід зазначити, що цьому передувала тривала та копітка підготовча робота всього науково-педагогічного і викладацького колективу протягом року.

Колектив академії визначив головну мету у своїй діяльності – розробити таку систему підвищення рівня якості освіти морських фахівців, яка дозволила б їм стати конкурентно спроможними на світовому ринку праці, шляхом експериментального відпрацювання найбільш ефективної методики підготовки морських фахівців по ступеням від професії матроса-моториста до старшого механіка і капітана, при цьому яка б в одночас поєднала в собі національні позитивні традиції морської освіти та найкращі світові досягнення в навчанні майбутнього командного складу відповідним компетенціям.

Протягом всього підготовчого періоду було проаналізовано, впорядковано, систематизовано і розроблено бібліографічний показник з нормативних документів, наукових монографій та статей як вітчизняних, так і закордонних науковців присвячені цій проблемі за такими напрямками: компетентнісний підхід в освіті, сучасні освітні технології, вища освіта і наука, Болонський процес в Україні та в країнах Європи.

Для того, щоб всі викладачі академії занурились в тему, протягом року на всіх факультетах академії, в Морському коледжі та ліцеї проводилися конференції і науково-методичні семінари, де в дискусійній формі розглядалися теоретичні, практичні та методичні проблеми впровадження компетентнісного підходу, а також актуальні питання розвитку світової морської освіти в паралелі з актуальними проблемами розбудови вищої освіти України і завданнями, проголошеними в новому Законі «Про вищу освіту». (Аналогічні заходи – конференції, виховні часи були проведені серед учнів ліцею та курсантів і студентів академії та коледжу.)

У практичній частині викладачами було сформульовано перелік компетентностей, якими мають оволодіти претенденти на зайняття посад судноводія, механіка й електромеханіка, а також структуровано їх систему підготовки за відповідними кваліфікаційними рівнями; визначено тематичні блоки професійної, загальноінженерної та загальнонаукової підготовки, оволодіння якими дозволить оволодіти необхідним рівнем компетентності.

У блоці професійної підготовки встановлено міжпредметні зв'язки з дисциплінами загально інженерної та загальнонаукової підготовки.

Також вперше було введено до навчальних планів систему тренажерної підготовки курсантів, яку інтегрували у відповідні курси академічної підготовки, з урахуванням компетентнісного підходу, розробили програми практичної підготовки, виконання яких дозволить курсантам у повному обсязі закріпити під час проходження плавальної практики отримані теоретичні знання, необхідні вміння та навички.

До навчальних планів було уведено ряд дисциплін, у процесі вивчення яких курсанти повинні отримати можливість краще підготуватися до відбору в судноплавних компаніях і подальшої професійної діяльності.

Також слід зазначити, що всі ці питання постійно обговорювалися на засіданнях вченої ради академії.

Наступним етапом стало визначення теоретичних і концептуальних засада, які становлять фундаментальну основу нашого експерименту, і які були представлені на обговорення і погоджені Міністерством освіти та провідними науковцями з Національної академії педагогічних наук України.

Як відомо обґрунтування будь-якого наукового, в нашому випадку науково-методичного експерименту, будується на визначенні таких важливих понять як предмет, об'єкт, мета, концепція, гіпотеза та завдання експериментально-дослідної роботи.

Таким чином, робочою групою з організації впровадження експерименту в навчальний процес академії було визначено й узгоджено, що об'єктом нашого дослідження є навчально-виховний процес ХДМА, який включає навчальну, практичну та тренажерну підготовку морських фахівців, а його предметом є зміст, форми, методи та засоби навчання курсантів і студентів в умовах запровадження компетентісного підходу до організації навчально-виховного процесу.

Метою дослідження і експерименту є розробка, теоретичне обґрунтування й експериментальна перевірка спеціально створеної методичної системи запровадження компетентісного підходу до організації навчально-виховного процесу підготовки майбутніх фахівців морської галузі.

Також була розроблена концепція дослідження, яка передбачає, що досягнення ефективності системи професійної підготовки майбутніх фахівців морської галузі на сучасному етапі розвитку освіти в Україні, можливо досягти лише враховуючи євроінтеграційні процеси, які визначаються адекватним вибором цілей і завдань, організаційних форм, методів і засобів навчання в їх раціональному поєднанні, також необхідно орієнтуватися лише на інноваційні технології навчання, які побудовані на засадах компетентісного підходу, і саме це дасть змогу підвести до суттєвих змін у його змістовій і процесуальній складових, в умовах модернізації традиційної системи навчання, розробки і реалізації нової методичної системи, що ґрунтується на таких положеннях, які складають теоретичні та методичні засади навчання:

- також концепція передбачає подальшу розробку стандартизації, системність і безперервність, комп'ютеризацію, діяльнісний підхід, гуманізацію, гуманітаризацію, що є обов'язковими умовами єдиного освітнього простору, в якому має здійснюватися підготовка морського фахівця;

- провідним у методичній системі професійної підготовки курсантів і студентів морських навчальних закладів має стати принцип інтеграції фундаментальності та професійної спрямованості змісту, форм, методів і засобів навчання;

- спеціальне розроблення і використання системи професійно спрямованих завдань до всіх видів занять, побудова якої спирається на виділення елементів знань і компетенцій діяльності морського фахівця;

- орієнтація процесу навчання на педагогічно доцільне та ефективне поєднання пояснювально-ілюстративних, експериментально-пошукових і проблемно-пошукових, активних та інтерактивних технологій навчання;

- процес організації навчально-пізнавальної діяльності на основі компетентісного підходу визначається методологією системно-діяльнісного

і комплексного підходів, що повинно дозволити нам побудувати динамічну модель навчально-виховного процесу, визначити її якісну сутність в єдності всіх її складових і умов її реалізації і функціонування;

- потребують поглиблення та змістовного виділення міжпредметні зв'язки курсів соціально-гуманітарних, фундаментальних і професійно-орієнтованих дисциплін з метою становлення майбутнього морського фахівця, із постійною рефлексією співвідношення теоретичної підготовки в морському навчальному закладі з результатами практичної та тренажерної підготовки курсантів на суднах морського флоту;

- навчання має здійснюватися за умови широкого використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, застосування модульно-рейтингової системи організації навчального процесу, зростання ролі самостійного навчання, дистанційного доступу до різноманітних відомостей; інтегративного підходу до використання віртуальних комп'ютерних моделей, мультимедійних посібників і класичних засобів навчання.

Виведена робочою групою гіпотеза дослідно-експериментальної роботи, ґрунтується на припущенні, що суттєве поліпшення професійної підготовки майбутнього фахівця морської галузі можливе лише за умови розробки сучасних теоретичних і методичних засад навчання на основі компетентісного підходу та впровадження у навчальний процес морських навчальних закладів методичної системи, в основу якої покладено принцип інтеграції гуманітарної, фундаментальної та професійної підготовки шляхом розробки цілісної компетентісної моделі морського фахівця. Це зумовить:

- приведення у відповідність змісту підготовки майбутніх морських фахівців сучасним вимогам Міжнародної морської організації й актуальним вимогам розвитку особистості;

- інтеграцію традиційних засобів навчання та нових, як чинника підвищення інтенсивності і результативності навчально-виховного процесу, а також активізації навчально-пізнавальної діяльності студентів, розвитку їх творчої активності;

- дотримання принципів індивідуалізації та диференціації навчання, посилення мотивації навчально-пізнавальної діяльності до здобування знань та оволодіння фаховими компетентностями, реалізацію особистісно-орієнтованого підходу;

- підвищення рівня професійної підготовки і, як наслідок, більш ефективне формування фахових компетентностей курсантів та студентів, потрібних для роботи на флоті;

- урізноманітнення форм, методів і засобів залучення студентів до участі в навчально-виховному процесі;

- залучення курсантів до продуктивної науково-дослідної діяльності, що сприятиме не лише розширенню теоретичної бази фундаментальних та фахових знань, але й виявленню та розвитку творчого потенціалу особистості.

Відповідно до предмета, мети, концепції та гіпотези дослідження було визначено наступні завдання:

1. Дослідити становлення та розвиток морської освіти у вищих морських навчальних закладах України і за кордоном, з метою визначення теоретико-змістових засад фахової підготовки майбутніх фахівців морської галузі.

2. Вивчити стан розв'язання проблеми в методичній і психолого-педагогічній літературі з метою підвищення ефективності підготовки фахівців морської галузі шляхом запровадження компетентісного підходу до організації навчально-виховного процесу.

3. Теоретично обґрунтувати концепцію та розробити модель навчально-виховного процесу на основі компетентісного підходу, використовуючи взаємозв'язок принципів фундаментальності та фахової спрямованості навчання.

4. Розробити вимоги до змісту й структури фахової підготовки для судноводійної, судномеханічної та електромеханічної спеціальностей морських навчальних закладів за

освітньо-кваліфікаційними рівнями «молодший бакалавр», «бакалавр» та «магістр», виходячи з мети та завдань навчання на основі компетентнісного підходу.

5. Розробити складові галузевих стандартів вищої освіти (ОПП, ОКХ, засоби діагностики), а також методи демонстрації компетентностей, критерії оцінювання та систему забезпечення якості підготовки.

6. Розробити тимчасове положення про організацію навчального процесу з урахуванням компетентнісного підходу.

7. Розробити робочі навчальні програми дисциплін з урахуванням компетентнісного підходу в навчанні морських фахівців відповідно до вимог ІМО для судноводійної, судномеханічної та електромеханічної спеціальностей морських навчальних закладів, а також комплекси навчально-методичного забезпечення навчальних дисциплін.

8. Здійснити експериментальну перевірку гіпотези дослідження.

У процесі експерименту було передбачено за необхідне:

- розробити компетентнісні моделі та структурно-логічні схеми підготовки морських фахівців усіх спеціальностей і всіх рівнів з урахуванням міжпредметних зв'язків навчальних дисциплін різних циклів;

- переглянути методики навчання відповідних навчальних дисциплін усіх циклів та системи формування загальних і фахових компетентностей з урахуванням необхідності переходу від традиційних монологічних методів навчання в межах одного предмету до суб'єкт-суб'єктних комунікативних методик. Ми вже бачимо, що це стосується майже всіх навчальних дисциплін як гуманітарного, фундаментального циклів, так і професійно орієнтованих дисциплін;

- проводиться дослідницька робота, щодо вдосконалення курсу «Менеджмент морських ресурсів» не тільки у формі окремої навчальної дисципліни, а як узагальнюючої системи знань, яка спонукала би курсантів до осмисленого сприйняття відповідних знань при вивченні інших фахових і загальних предметів;

- запровадження модульного підходу до організації навчального процесу, який має на меті поетапне та взаємопов'язане оволодіння курсантами окремими компетентностями в рамках навчального модуля і з урахуванням поєднання окремих компетентностей у загально-професійну компетентність. Було встановлено, що при введенні модульного навчання, освітні програми повинні розроблятися у залежності від цілей освіти в цілому. Тобто в модуль вкладається тільки той навчальний матеріал, який є складовою у формуванні певної компетентності без засвоєння курсантами, так званих «мертвих знань», які не приймають участі у формуванні даної компетентності. На основі модульного навчального плану розробляється навчальний план із формуючих модулів (навчальних дисциплін), що деталізує підготовку фахівців відповідного рівня та спеціальності і в той же час передбачено, що навчальний матеріал є складовою фахової компетентності;

- робочою групою були переглянуті змістові складові навчальних дисциплін гуманітарного та фундаментального циклів і їх чітка прив'язка до професійної підготовки фахівця, що дасть можливість курсанту у процесі навчання набути необхідних у подальшій професійній діяльності загальних компетентностей (соціальних і фундаментальних);

- планується під час проведення експерименту розробити нові форми і методи оцінювання, перейти до трьохрівневого контролю набутих курсантами знань та професійних навичок. Якщо при традиційному підході контроль за навчальними досягненнями курсанта здійснювався у два етапи – поточний контроль та контроль під час заліково-екзаменаційних сесій, то при запровадженні компетентнісного підходу передбачено перехід до трьох етапів контролю, а саме: поточний контроль, що здійснюється викладачем за результатами засвоєння курсантами змістових модулів навчальних дисциплін (тематичне оцінювання); оцінювання формуючих модулів

(навчальних дисциплін) під час заліково-екзаменаційних сесій; завершальне інтегральне оцінювання рівня оволодіння певними компетентностями курсантом у залежності від етапу навчання, що здійснюється відповідними комісіями та має забезпечити накопичувальну основу для відчуття майбутнім фахівцем компетентності у вибраному фаху.

**Висновки.** Так у загальному виді виглядають основні теоретичні концептуальні засади з організації і впровадження дослідно-експериментальної роботи, яку планується створити, впровадити і досягти намічених кінцевих результатів у 2018 році.

Восени 2015 року завершується перший рік експериментальної роботи, про виконання завдань намічених нами на 2014–2015 н. р. планується, що ректорат буде звітувати перед НАПН та Міністерством освіти України. Про те, що вже зроблено на теперішній час, над чим зараз працює весь колектив викладачів академії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Абакумова Н. Н., Малкова И. Ю. Компетентностный подход в образовании: организация и диагностика / Н. Н. Абакумова, И. Ю. Малкова – Томск : Томский государственный университет, 2007. – 368 с.
2. Байденко В. И., Джерри ван Зантворт. Модернизация профессионального образования: современный этап. Европейский фонд образования / В. И. Байденко, Джерри Ван Зантворт. – М., 2003. – 159 с.
3. Байхонова С. З. Управление качеством образования на основе компетентностного подхода // Менеджмент в образовании. – 2010. – №4. – С. 260-265.
4. Баранников А. В. Содержание профессионального образования. Компетентностный подход / А. В. Баранников. – М., 2002.
5. Бех И. Теоретико-прикладной смысл компетентностного подхода в педагогике / И. Д. Бех // Педагогика и психология: вестник АПН Украины. – 2009. – № 2. – С. 27-33.
6. Болонский процесс: Результаты обучения и компетентностный подход (Книга – приложение 1) / Под науч. ред. д-ра пед. наук, профессора В. И. Байденко. – М. : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2009. – 536 с.
7. Болонский процесс: европейские и национальные структуры квалификаций (Книга – приложение 2) / Под науч. ред. д-ра пед. наук, профессора В. И. Байденко. – М. : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2009. – 220 с.
8. Болонский процесс: Концептуально-методологические проблемы качества высшего образования (Книга-приложение 3) / Под науч. ред. д-ра пед. наук, профессора В. И. Байденко. – М. : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2009. – 304 с.
9. Козлова Г. Компетентнісний підхід до навчання студентів і викладачів: [інтерактивне навчання: форми, методи; складові системи активного навчання; базовий компонент – інтерактивний модуль з дисципліни «Вступ до фаху»; тренінг-курс для викладачів «Сучасні освітні технології в освіті» та ін.] / Г. Козлова, Т. Кублікова // Вища школа. – 2011. – № 4. – С.83-93.
10. Національна стратегія розвитку освіти в Україні на 2012–2021 роки // Вища школа. – 2013. – № 2. – С. 86-106.
11. Про вищу освіту : Закон України від 1 липня 2014 року №1556-VII, м. Київ // Освіта в Україні: довідковий бюлетень. – 2014. – № 9. – С. 29-106.
12. Про затвердження Національної рамки кваліфікацій: пост. КМ України від 23 листопада 2011 року № 1341 // Вища школа. – 2012. – № 3. – С. 103-125.
13. ПДНВ / Включает Манильские поправки 2010 года. / Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты / ИМО: Международная морская организация. – Лондон, 2013. – 414 с.

14. Реалізація європейського досвіду компетентнісного підходу у вищій школі України: матеріали методологічного семінару. – К. : Педагогічна думка, 2009. – 360 с.
15. Сухарніков Ю. Суть поняття learning outcomes у вищій освіті України / Ю. Сухарніков // Вища школа. – 11/2012. – № 11. – С. 7-24.

## REFERENCES

1. Abakumova N. N. Kompetentnostnyy podkhod v obrazovanyy: orhanyzatsyya y dyahnostyka / Abakumova N. N., Malkova Y. Yu. – Tomsk : Tomskyy gosudarstvennyy unyversytet, 2007. – 368 s.
2. Baydenko V. Y. Modernyzatsyya professyonal'noho obrazovanyya: sovremennyy etap. Evropeyskyy fond obrazovanyya Tekst. / V. Y. Baydenko, Dzherri Van Zatvort. – M., 2003. – 159 s.
3. Baykhonova S. Z. Upravlenye kachestvom obrazovanyya na osnove kompetentnostnoho podkhoda // Menedzhment v obrazovanyy. – 2010. – № 4. – S. 260-265.
4. Barannykov A.V. Soderzhanye professyonal'noho obrazovanyya. Kompetentnostnyy podkhod / A.V. Barannykov. – M. : 2002.
5. Bekh Y. Teoretyko-pryklyadnoy smysl kompetentnostnoho podkhoda v pedahohyke / Y. D. Bekh // Pedahohyka y psykhohohyya: vestnyk APN Ukrayny. – 2009. – № 2. – S. 27-33.
6. Bolonskyy protsess: Rezul'taty obuchenyya y kompetentnostnyy podkhod (Knyha – prylozhenye 1) / Pod nauch. red. d-ra ped. nauk, professora V. Y. Baydenko. – M. : Yssledovatel'skyy tsentr problem kachestva podhotovky spetsyalystov, 2009. – 536 s.
7. Bolonskyy protsess: evropeyskye y natsyonal'nyye struktury kvalyfykatsyy (Knyha – prylozhenye 2) / Pod nauch. red. d-ra ped. nauk, professora V. Y. Baydenko. – M. : Yssledovatel'skyy tsentr problem kachestva podhotovky spetsyalystov, 2009. – 220 s.
8. Bolonskyy protsess: Kontseptual'no-metodolohycheskye problemy kachestva vysshheho obrazovanyya (Knyha-prylozhenye 3) / Pod nauch. red. d-ra ped. nauk, professora V.Y. Baydenko. – M. : Yssledovatel'skyy tsentr problem kachestva podhotovky spetsyalystov, 2009. – 304 s.
9. Kozlova H. Kompetentnisnyy pidkhyd do navchannya studentiv i vykladachiv: [interaktyvne navchannya: formy, metody; skladovi systemy aktyvnoho navchannya; bazovyy komponent – interaktyvnyy modul' z dystsypliny «Vstup do fakhu»; treninh-kurs dlya vykladachiv «Suchasni osviti tekhnolohiyi v osviti» ta in.] / H. Kozlova, T. Kublikova // Vyshcha shkola. – 2011. – № 4. – S.83-93.
10. Natsional'na stratehiya rozvytku osvity v Ukrayini na 2012-2021 roky: [proekt] // Vyshcha shkola. – 2013. – № 2. – S.86 – 106.
11. Pro vyshchu osvitu : Zakon Ukrayiny vid 1 lypnya 2014 roku #1556-UII, m. Kyiv // Osvita v Ukrayini: dovidkovyy byuleten'. – 2014. – № 9. – S.29 – 106.
12. Pro zatverdzhennya Natsional'noyi ramky kvalifikatsiy: post. KM Ukrayiny vid 23 lystopada 2011 roku # 1341 // Vyshcha shkola. – 2012. – № 3. – S.103 – 125.
13. PDNV / Vklyuchaet Manyl'skye popravky 2010 hoda. / Mezhdunarodnaya konventsyya o podhotovke y dyplomyrovanyy moryakov y nesenyy vakht / YMO : Mezhdunarodnaya morskaya orhanyzatsyya. – London, 2013. – 414 s.
14. Realizatsiya yevropeys'koho dosvidu kompetentnisnoho pidkhydu u vyshchiy shkoli Ukrayiny: materialy metodolohichnoho seminaru. – K. : Pedohohichna dumka, 2009. – 360 s.
15. Sukharnikov Yu.Sut' ponyattya learning outcomes u vyshchiy osviti Ukrayiny / Yu. Sukharnikov // Vyshcha shkola. – 11/2012. – № 11. – S. 7-24.

**Куликова Л.Б.** КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ «ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА В СИСТЕМЕ СТУПЕНЧАТОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ МОРСКОЙ ОТРАСЛИ» В ХЕРСОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ МОРСКОЙ АКАДЕМИИ НА 2014-2018 ГОДЫ

*В данной статье поднимается проблема создания конкурентоспособной системы профессионального образования и повышения качества подготовки специалистов морской отрасли в Украине. Описывается подготовительная работа к проведению научно-методического эксперимента, проделанная научно-педагогическим коллективом академии. Сформулированы концептуальные основы и подходы к организации и проведению опытно-экспериментальной работы в учебном процессе. Определены такие важные понятия как предмет, объект, цель, концепция, гипотеза и задачи экспериментально-исследовательской работы. Выделены основные положения, которые составляют теоретические и методические основы обучения и реализации новой методической системы профессиональной подготовки курсантов в данном эксперименте. Описывается трехуровневый подход контроля приобретенных курсантами знаний и профессиональных навыков.*

**Ключевые слова:** компетентностный подход, научно-методический эксперимент, морское профессиональное образование, содержание, инновационные методы, учебные модули, рабочие, учебные планы и программы.

**Kulikova L.B.** THE CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF THE EXPERIMENTAL WORK ON «THE THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR IMPLEMENTING COMPETENCY APPROACH IN THE SYSTEM OF MARITIME SPECIALIST TRAINING» IN KHERSON STATE MARITIME ACADEMY IN 2014-2018 YEARS

*This article raises the problem of creating a competitive system of vocational education and improving the quality of specialist training of the maritime industry in Ukraine. The article describes the preparatory work for the implementation of scientific and methodological experiment undertaken by scientific and teaching staff of the Academy. A conceptual framework and approaches to the organization and conduct experimental work in the educational process were formulated. Such important concepts as subject, object, aim, concept, hypothesis and objectives of experimental research were determined. The basic provisions were highlighted that make up the theoretical and methodological foundations of learning and implementing new methodical system of students' vocational training in this experiment. It describes the three-tiered approach to control cadets' acquired knowledge and skills.*

**Keywords:** competence approach, scientific and methodological experiment, marine professional education, content, innovative methods, training modules, working plan, curricula and programs.

© Кулікова Л.Б.

Статтю прийнято  
до редакції 24.06.15



***РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА  
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА***

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НАСТАННЯ МОМЕНТУ НЕОБХІДНОСТІ ОЧИЩЕННЯ НАКИПУ КОТЛА ПЕРЕСУВНИХ ПАРОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК НАФТОГАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**Богатчук І.М., Прунько І.Б.**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,*

**Богатчук М.І.**

*Центр нормативно-економічних досліджень ПАТ «Укрнафта»,*

*м. Івано-Франківськ*

*У даній статті розглядається питання визначення моменту проведення промивки змійовиків парового котла парогенератора, шляхом визначення різниці тисків на вхідному та вихідному трубопроводі парогенератора, що дозволить припинити відкладення накипу на стінках змійовика, не допустити перепад і розрив змійовика, і, у зв'язку з цим, зменшити витрату палива на вироблення пари. Суть запропонованої методики пояснюється наступним чином. Згідно законів гідравліки визначаємо втрати тиску при зміні внутрішнього об'єму змійовика котла теплогенератора. Втрати тиску при зміні внутрішнього об'єму визначаємо за формулою Дарсі.*

*Розрахунки проводять для реально можливих змін об'єму та за результатами розрахунків отримуємо графік. За графіком, у залежності від товщини накипу, можна встановити, яка повинна бути різниця тисків на вході та виході з котла теплогенератора.*

*Область використання результатів роботи – парові установки нафтогазового технологічного транспорту. Таким чином, нами була обґрунтована економічна доцільність проводити кислотну обробку змійовиків ППУ, не чекаючи нормативних термінів (48–72 год.). Запропоновано спосіб визначення настання моменту кислотної обробки, виходячи із значень перепаду тиску на змійовикові, та схему пристрою для фіксації настання цього моменту. Це дозволить не тільки досягнути економії палива, але і буде запобігати виходу з ладу технологічного обладнання.*

**Ключові слова:** змійовик парового котла, живильна вода.

**Вступ.** Методика відноситься до теплоенергетики, а саме до пересувних парогенераторних установок нафтогазового технологічного транспорту: ППУ-3; ППУ-3М; ППУА-1200/100; ППУА-1600/100; АДПМ-12/150У1; 2АДПМ-12/150-У1 та інші [1, 2, 3], які використовуються в нафтогазовій промисловості для депарафінізації свердловин, трубопроводів, нафтогазового й іншого обладнання насиченою парою високого та низького тиску, а також для інших побутових і промислових потреб.

В інструкціях з експлуатації для наведених установок момент проведення промивки змійовиків парового котла, з метою усунення накипу в паровій магістралі кислотою не регламентується, так як повністю він залежить від живильної води та режиму виробітку пари [1, 2, 3]. Інструкціями з технічної експлуатації установок [1–4] робота парового котла на непідготовленій живильній воді не допускається.

**Актуальність досліджень.** Відомо, що інструкціями з експлуатації парогенераторних установок [1–4] до води, яка використовується для вироблення та закачування у пласт пари, ставляться підвищені вимоги, ніж до води, яка використовується у звичайних промислових котельнях. Належно не підготовлена вода, що може мати місце при експлуатації парогенераторних установок [4], зумовлює появу шару накипу з низьким коефіцієнтом теплопровідності і, як наслідок, високого термічного опору стінок труб, що призводить до зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) котла, перевитрат палива на отримання необхідної кількості пари, в порівнянні з нормативними даними регламентованими інструкціями з технічної експлуатації установок. Пояснюється це тим, що в прямооточних парових установках, якими є парогенератори, в результаті випаровування різко збільшується концентрація розчинених у воді солей [4]. Також інструкцією з експлуатації [1–3] передбачається, що концентрація промивних розчинів, залежить від проби накипу на розчинність або в залежності від товщини шару відкладення

від 0,5 мм до 1 мм і від 1 мм до 1,5 мм концентрація соляної кислоти відповідає відповідно 3,4 і 5 %. Концентрація розчину більше 8 % не рекомендується.

При виробленні пари з ступінем сухості 0,7 концентрація розчинених у залишковій воді солей збільшується у 3,5 рази. При ступені сухості пари 0,8 концентрація розчинених солей у залишковій воді зростає в 5 разів, а при ступені сухості виробленої пари 0,9 збільшується в 10 раз. Якщо вміст солей у воді перевищує межу їх розчинення, а розчинність солей при високих тисках значно знижується, то на внутрішніх поверхнях нагріву парової установки буде інтенсивно відкладатись накип [4]. Користуючись уже відомими рекомендаціями [5] при товщині шару 5 мм перевитрата палива складає 30 %, а при 10 мм – збільшується у два рази. Утворений накип приводить до перевитрат палива, а також перепалу та розриву змійовика котла парогенератора.

У джерелі [4] рекомендується кислотна обробка змійовика парогенератора через 48–72 години роботи установки. У даному випадку рекомендується дуже великий інтервал часу роботи установки 24 год., це складає 50 % часу роботи установки до рекомендованої очистки. Експлуатаційники, користуючись таким великим інтервалом 48–72 години роботи установки, до прийняття рішення про необхідність очистки змійовика, часто працюють на максимальній граничній межі часу та тим самим створюють умови до перевитрат палива на отримання необхідної кількості пари, в порівнянні з нормативними даними регламентованими інструкціями з технічної експлуатації установок.

Аналіз умов експлуатації парогенераторних установок мобільного типу показує, що їх кількість у підприємствах нафтогазової галузі роздібнена (не сконцентрована в одному територіальному чи регіональному районі). Нафтогазові управління чи інші підприємства, які займаються експлуатацією свердловин, зберіганням чи транспортуванням нафти або газу мають одну, а в кращому випадку, дві парогенераторні установки.

Таким організаціям не зовсім доцільно створювати спеціальні технологічні системи для підготовки живильної води, в кращому випадку при невеликих відстанях до місця експлуатації установок, використовують живильну воду котельних агрегатів, яка споживається для обігріву приміщень та інших побутових потреб, причому вони різні за фізико-хімічними властивостями для живлення парових і водогрійних котлів.

Експлуатація парогенераторних установок у польових умовах на далекій відстані від основних баз їх дислокації (зберігання і обліку) приводить до вимушеного споживання фізично та хімічно непідготовленої живильної води, як правило це підземні природні джерельні води, води з рік, озер, ставків та ін. За фізико-хімічними властивостями згадані води не відповідають поставленим вимогам, передбаченим інструкціями з експлуатації [1–4], для яких твердість повинна бути менша 10 мкг-екв/кг. За різними інформаційними джерелами [6, 7] твердість природної не підготовленої води складає від 0,5 до 5,0 мг-екв/л, що щонайменше в 50 разів більше, ніж передбачено інструкціями з експлуатації парогенераторних установок [1–4].

Підготовка живильної води для парогенераторних установок у технологічному та технічному відношенні досить складна і фінансово вартісна, у зв'язку з чим деякі експлуатуючі організації нехтують правилами з експлуатації парогенераторних установок (підготовки живильної води) і використовують технічну воду, якою користуються на об'єктах нафтогазової галузі [4], а інструкціями з експлуатації не регламентується момент визначення необхідності усунення (очищення) накипу з змійовика парогенератора, то виникла необхідність встановлення моменту кислотної обробки змійовика парогенератора за доступними фізичними параметрами роботи парогенераторної установки.

Недоліком даного способу є відсутність інформації в моменті визначення необхідності кислотної обробки парогенератора, з метою усунення накипу з його змійовика.

**Постановка задачі.** В основу методики поставлена задача визначення моменту проведення промивки змійовиків парового котла парогенератора шляхом визначення різниці тисків на вхідному і вихідному трубопроводі парогенератора, що дозволить припинити відкладення накипу на стінках змійовика, не допустити перепал та розрив змійовика, і в зв'язку з цим зменшити витрату палива на вироблення пари.

**Результати досліджень.** Поставлена задача вирішується тим, що момент необхідності кислотної обробки котла пересувного парогенератора, визначається за тиском у котлі парогенератора. У процесі експлуатації визначають різницю тисків на вході та виході гідросистеми котла теплогенератора, що встановлюється диференційованим манометром і за різницею тисків по графіку визначають товщину накипу на внутрішній поверхні трубки, за якою по графіку встановлюють і регулюють електричний контакт, на різницю тисків якому відповідає товщина накипу і при досягненні запрограмованого тиску отримують звуковий і світловий сигнали, здійснюють кислотну обробку котла парогенератора.

Суть запропонованої методики пояснюється наступним чином. Згідно законів гідравліки [8] визначаємо втрати тиску при зміні внутрішнього об'єму змійовика котла теплогенератора.

За джерелом [8] втрати тиску при зміні внутрішнього об'єму визначаємо за формулою Дарсі:

$$h_{втр} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho V^2}{2}. \quad (1)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічних втрат;  $l$  – довжина змійовика, м;  $d$  – діаметр змійовика, м;  $\rho$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – швидкість руху рідини, м/с.

Розрахунки проводять для реально можливих змін об'єму та за результатами розрахунків отримуємо графік (рис. 1). За графіком у залежності від товщини накипу можна встановити, яка повинна бути різниця тисків на вході і виході з котла теплогенератора.

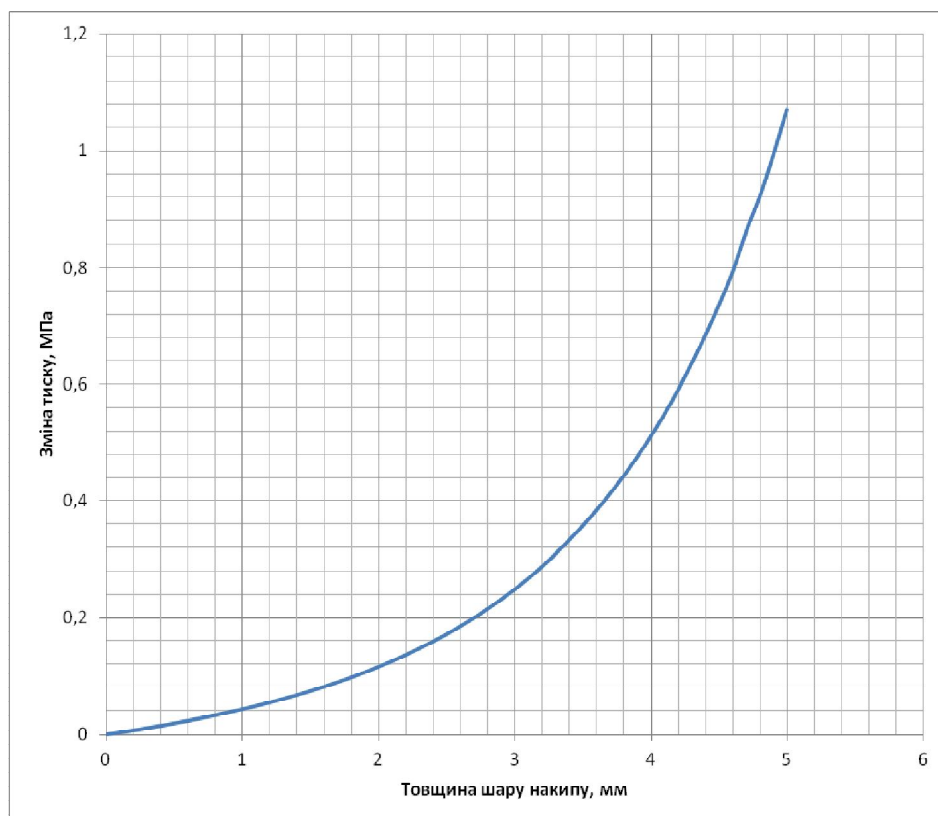


Рисунок 1 – Залежність зміни тиску пари від товщини накипу

Проведемо додаткові розрахунки для визначення витрати палива в залежності від товщини накипу.

Витрата палива ППУА при наявності накипу на стінках змійовика котла [9]:

$$B_2 = B_1 \cdot \frac{k_2}{k_1} \quad (2)$$

де  $B_1$  – витрата палива ППУА без накипу на стінках змійовика, кг/год;  $k_1$  – коефіцієнт теплопровідності без накипу на стінці змійовика котла, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $k_2$  – коефіцієнт теплопровідності стінки змійовика котла при наявності накипу, Вт/(м<sup>2</sup>К).

Коефіцієнт теплопровідності стінки змійовика котла без накипу визначимо з формули:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_2} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_3}} \quad (3)$$

де  $\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі від гарячого середовища до стінки змійовика, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $\alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до холодного середовища, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $\lambda_1$  – коефіцієнт теплопровідності стінки, Вт/(м·К);  $d_1$  – внутрішній діаметр стінки змійовика з накипом (рис. 2), м;  $d_2$  – внутрішній діаметр стінки змійовика (рис. 2), м;  $d_3$  – зовнішній діаметр стінки змійовика (рис. 2), м.

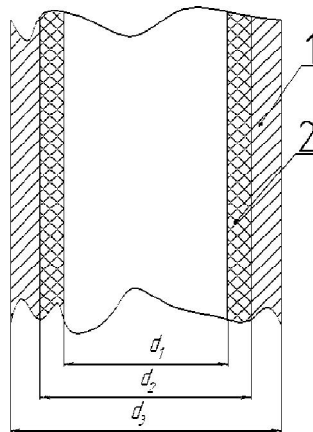


Рисунок 2 – Схема трубки змійовика, вкритої накипом: 1 – трубка, 2 – накип

Коефіцієнт теплопровідності стінки змійовика котла при наявності накипу визначимо як для двохшарової циліндричної стінки:

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_3}} \quad (4)$$

де  $d_1$  – внутрішній діаметр стінки змійовика з накипом (рис. 2), м;  $\lambda_2$  – коефіцієнт теплопровідності накипу, Вт/(м·К).

Застосуємо дані формули для визначення зміни витрати палива, в залежності від товщини накипу, на стінках змійовика, взявши за приклад пересувну парогенераторну установку ППУА-1600/100 [2], для якої, згідно нормативів, годинна витрата пального складає 110 кг/год. Для проведення розрахунків й побудови графіків використаємо математичний пакет Mathcad компанії Mathsoft.

Встановлено, що при товщині шару в 1,5 мм (рис. 3) перевитрата палива збільшується до 20 %, що для установки ППУА 1600/100 буде складати 22 кг/год. Така висока витрата палива в умовах заощадження енергетичних ресурсів недопустима.

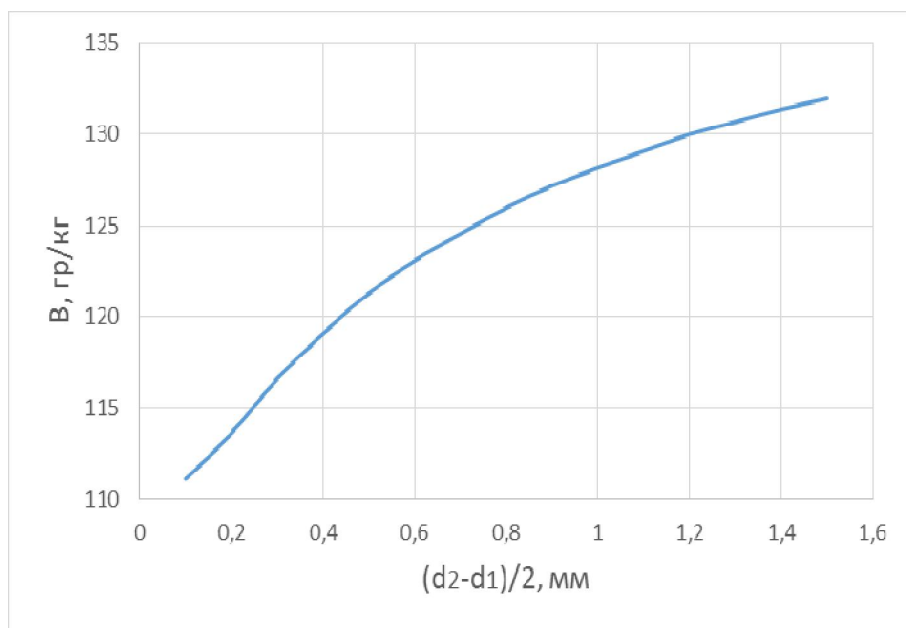


Рисунок 3 – Залежність витрати палива на пароутворення від товщини накипу

Із метою автоматизації фіксації моменту необхідності проведення кислотної обробки змійовика нами пропонується пристрій (рис. 4), який складається з диференційованого датчика 1, який з'єднаний з впускним 2 і випускним 3 трубопроводами котла теплогенератора 4. У диференційований датчик 1 вмонтований електричний контакт 5, який з'єднаний з вимикачем електричного кола 6 і звукового сигналу 7 та світлового датчика 8.

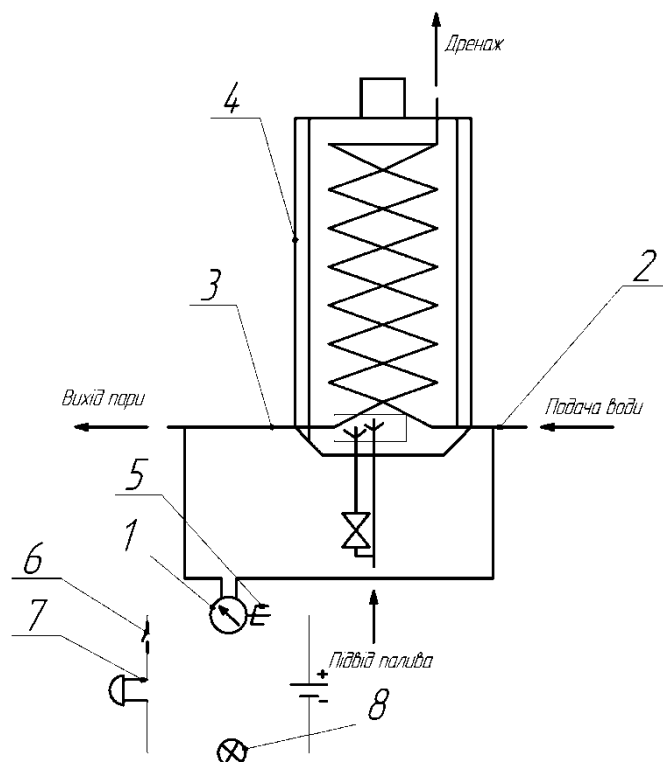


Рисунок 4 – Пристрій для фіксації моменту необхідності кислотної обробки

Після визначення вхідного тиску води у змійовику парогенератора, за допомогою манометра визначаємо різницю тисків. За різницею тисків за графіком (рис. 1) визначаємо товщину накипу на внутрішній поверхні трубки і програмуємо величину тисків.

При товщині шару накипу до 1 мм у гідравлічній системі котла перепад тисків на вході та виході з нього буде складати 0,04 МПа. У цей час вмонтований

у диференційований датчик 1 електричний контакт 5, замкнеться і струм по електричному колу через вимикач 6 потече до звукового сигналу 7 та світлового датчика 8. Оператор установки отримає звуковий сигнал, який сповістить про необхідність втручання в гідравлічну систему котла парогенератора. За допомогою вимикача 6 оператор може відключити звуковий сигнал 7 і при необхідності припинити або продовжити роботу парогенератора.

**Висновки.** Таким чином, нами була обґрунтована економічна доцільність проводити кислотну обробку зміювиків ППУ, не чекаючи нормативних термінів (48–72 год.). Запропоновано спосіб визначення настання моменту кислотної обробки, виходячи зі значень перепаду тиску на зміювиків і схему пристрою для фіксації настання цього моменту. Це дозволить не тільки досягнути економії палива, але і буде запобігати виходу з ладу технологічного обладнання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Установка промышленная паровая передвижная ППУА-1200/100. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ( 25.00.00.000 ТО). – 1989. – 72с.
2. Установка промышленная паровая передвижная ППУА-1600/100. Руководство по эксплуатации (ТУ 26-02-987-85). ОАО «Нальчикский машиностроительный завод» – Нальчик : КБР, 2005. – 73 с.
3. Паровая передвижная установка ППУ-3М : каталог – М. : Недра, 1971. – 43 с.
2. Байбаков Н. К. Термоинтенсификация добычи нефти / Н. К. Байбаков, В. А. Брагин, А. Р. Гарушев, И. В. Толстой. – М. : Недра, 1971. – 280 с.
3. Очистка котлов и теплообменников [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://tehgidro.com.ua/rus/truby>.
4. Окоча А. І. Довідник по паливу і мастильних матеріалах / А. І. Окоча, Я. Ю. Білоконь. – К. : Урожай, 1988. – 184 с.
5. Колесник П. А. Материаловедение на автомобильном транспорте. – М. : Транспорт, 1987. – 271 с.
6. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др. – М. : Машиностроение, 1982. – 423с.
7. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. – М. : Атомиздат, 1979. – 416 с.

## REFERENCES

1. Ustanovka promihslovaya parovaya peredvizhnaya PPUA-1600/100. Rukovodstvo po ehkspluatatsii (TU 26-02-987-85). ОАО «Nalchikskiyj mashinostroitel'niyj zavod» – Nalchik : KBR, 2005. – 73 s.
2. Parovaya peredvizhnaya ustanovka PPU-3M : katalog – M. : Nedra, 1971. – 43 s.
3. Bayjbakov N. K. Termointensifikaciya dobihchi nefti / N. K. Bayjbakov, V. A. Bragin, A. R. Garushev, I. V. Tolstoyj. – M. : Nedra, 1971. – 280 s.
4. Ochistka kotlov i teploobmennikov [Elektron. resurs]. – Rezhim dostupu : <http://tehgidro.com.ua/rus/truby>.
5. Okocha A. I. Dovidnik po palivu i mastil'nikh materialakh / A. I. Okocha, Ya. Yu. Bilokonj. – K. : Urozhayj, 1988. – 184 s.
6. Kolesnik P. A. Materialovedenie na avtomobil'nom transporte. – M. : Transport, 1987. – 271 s.
7. Gidravlika, gidromashinij i gidroprivodij : uchebnik dlya mashino-stroitel'nikh vuzov / T. M. Bashta, S. S. Rudnev, B. B. Nekrasov i dr. – M. : Mashinostroenie, 1982. – 423s.
8. Kutateladze S. S. Osnovi teorii teploobminu / S. S. Kutateladze. – M. : Atomizdat, 1979. – 416 s.

**Богатчук И.М., Прунько И.Б., Богатчук М.И. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАСТУПЛЕНИЯ МОМЕНТА НЕОБХОДИМОСТИ ОЧИСТКИ НАКИПИ КОТЛА ПЕРЕДВИЖНЫХ ПАРОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК НЕФТЕГАЗОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА**

*В данной статье рассматривается вопрос определения момента проведения промывки змеевиков парового котла парогенератора путем определения разницы давлений на входном и выходном трубопроводе парогенератора, что позволит прекратить отложение накипи на стенках змеевика, не допустить перегрева и разрыв змеевика, и в связи с этим уменьшить расход топлива на выработку пара. Суть предложенной методики объясняется следующим образом. Согласно законам гидравлики определяем потери давления при изменении внутреннего объема змеевика котла теплогенератора.*

*Потери давления при изменении внутреннего объема определяем по формуле Дарси. Расчеты проводят для реально возможных изменений объема и по результатам расчетов получаем график. По графику в зависимости от толщины накипи можно установить, какая должна быть разница давлений на входе и выходе из котла теплогенератора. Область применения результатов работы - паровые установки нефтегазового технологического транспорта.*

*Таким образом, нами была обоснована экономическая целесообразность проводить кислотную обработку змеевиков ППУ, не дожидаясь нормативных сроков (48–72 ч.). Предложен способ определения наступления момента кислотной обработки, исходя из значений перепада давления на змеевик и схему устройства для фиксации наступления этого момента. Это позволит не только достичь экономии топлива, но и предотвратит выход из строя технологического оборудования.*

**Ключевые слова:** змеевик парового котла, питательная вода.

**Bogatchuk I.M., Prunko I.B., Bogatchuk M.I. METHOD OF DETERMINING THE ONSET MOMENTS NEED SCALE BOILER CLEANING MOBILE UNITS OIL AND GAS COGENERATION TECHNOLOGICAL TRANSPORT**

*In this article discusses the definition of time of the washing steam boiler steam coils by determining the pressure difference at the input and output steam pipeline, which will stop the deposition of scale on the walls of the coil, to prevent burnout and coil gap, and in this regard to reduce fuel consumption for steam generation.*

*The essence of the proposed method is explained as follows. According to the laws of hydraulics determine the pressure loss by changing the internal volume coil boiler heat-loheneratora. Loss of pressure by changing the internal volume determined by the formula Darcy.*

*Calculations carried out for real volume and possible changes to the estimates we obtain for the schedule. According to the schedule, depending on the thickness of scale can be set, which should be the pressure difference at the inlet and outlet of the boiler heat generator. Field of use of the work - Steam installation process oil and gas transport.*

*Thus, we have proved the economic feasibility to carry out the acid treatment coils foam without waiting for regulatory deadlines (48 - 72 h.). The method of determining the onset time of acid treatment, based on the values of the pressure drop on the coil and circuit device for fixing the onset of this moment. This will not only achieve fuel economy, but also will prevent the failure of process equipment.*

**Keywords:** coil steam boiler feed water.

© Богатчук И.М., Прунько И.Б., Богатчук М.И.

Статтю прийнято  
до редакції 17.04.15

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С УЧЕТОМ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

*Ходаков В.Е., Соколова Н.А.*

*Херсонский национальный технический университет*

*Для социально-экономических систем регионального типа, функционирующих в неблагоприятных приближенных к критическим природно-климатических условиях, необходимо согласованное целенаправленное государственное антикризисное управление. Использование в комплексе соответствующих механизмов и инструментов антикризисного государственного управления обеспечивает сохранение управляемости социально-экономической системой.*

**Ключевые слова:** *социальноэкономические системы, природно-климатические условия.*

**Введение.** Одним из интересных и важных классов сложных систем являются социально-экономические системы, к которым могут быть отнесены территории, регионы, области, страны.

Функционирование таких социально-экономических систем (СЭС), в качестве которых выступают страны, регионы Восточной Европы с менее благоприятными природно-климатическими факторами (ПКФ), чем в западной Европе, объясняет их функционирование в более сложных внешних условиях с более высоким уровнем риска, приближенным к условиям кризисов. Для таких СЭС необходимо согласованное, целенаправленное государственные антикризисное управление.

Сейчас развитие антикризисного управления набирает все большие темпы. Если первые публикации были только зарубежных ученых, то в настоящее время появляются и отечественные публикации [1].

Антикризисное управление – это управление, нацеленное на оперативное выявление признаков кризисного состояния и создания соответствующих механизмов своевременного их преодоления с целью обеспечения функционирования и развития СЭС. Антикризисное управление объединяет принципы целенаправленности, эффективности, гибкости, оперативности, рациональности и представляет систему управленческих мероприятий по диагностике, предупреждению, нейтрализации и преодолению кризисных явлений [2]

Некоторые авторы [3] утверждают, что почти любое управление может быть представлено как антикризисное, то есть построено на учете риска и опасности кризисных ситуаций.

Антикризисное управление обеспечивает предвидение опасности кризиса, стабилизацию неустойчивых состояний и сохранение управляемости социально-экономическими системами.

Причины кризисов на уровне управления данного класса СЭС могут быть классифицированы на два класса: связанные с циклическими потребностями модернизации и реструктуризации СЭС, а также неблагоприятным влиянием внешней среды, ПКФ. Специфичной особенностью функционирования СЭС Восточной Европы является объединение на региональном уровне управления экономических, экологических, природно-климатических и социальных кризисных явлений.

**Постановка задачи.** Основной задачей данного исследования является изложение и систематизация основных факторов и условий, определяющих способности и характерные черты управления социально-экономическими системами, функционирующими в условиях неблагоприятных, приближенных к критическим, природно-климатическим условиям.

**Основное содержание.** Выделим основные черты антикризисного управления [2, 3]:

- предварительная диагностика возникновения кризисных ситуаций;
- гибкость и адаптивность;
- склонность к усилению неформализованного управления, а также мотивации, энтузиазма, терпения, уверенности;
- диверсификация управления, поиск наиболее приемлемых типологических признаков эффективного управления в сложных ситуациях;
- снижение централизма для обеспечения своевременного ситуационного реагирования на возникающие проблемы;
- усиление интеграционных процессов, позволяющих концентрировать внимание и более эффективно использовать имеющийся потенциал;
- необходимость предварительной разработки процедур и планов действий на случаи, приравняемые к кризисным.

Главной целью антикризисного управления является обеспечение и сохранение устойчивости развития и функционирования СЭС при любых природно-климатических, социальных и экологических изменениях, т.е. сохранения управляемости СЭС, и, как следствие, сохранение или повышение устойчивости экономики и качества жизни населения (рис. 1).

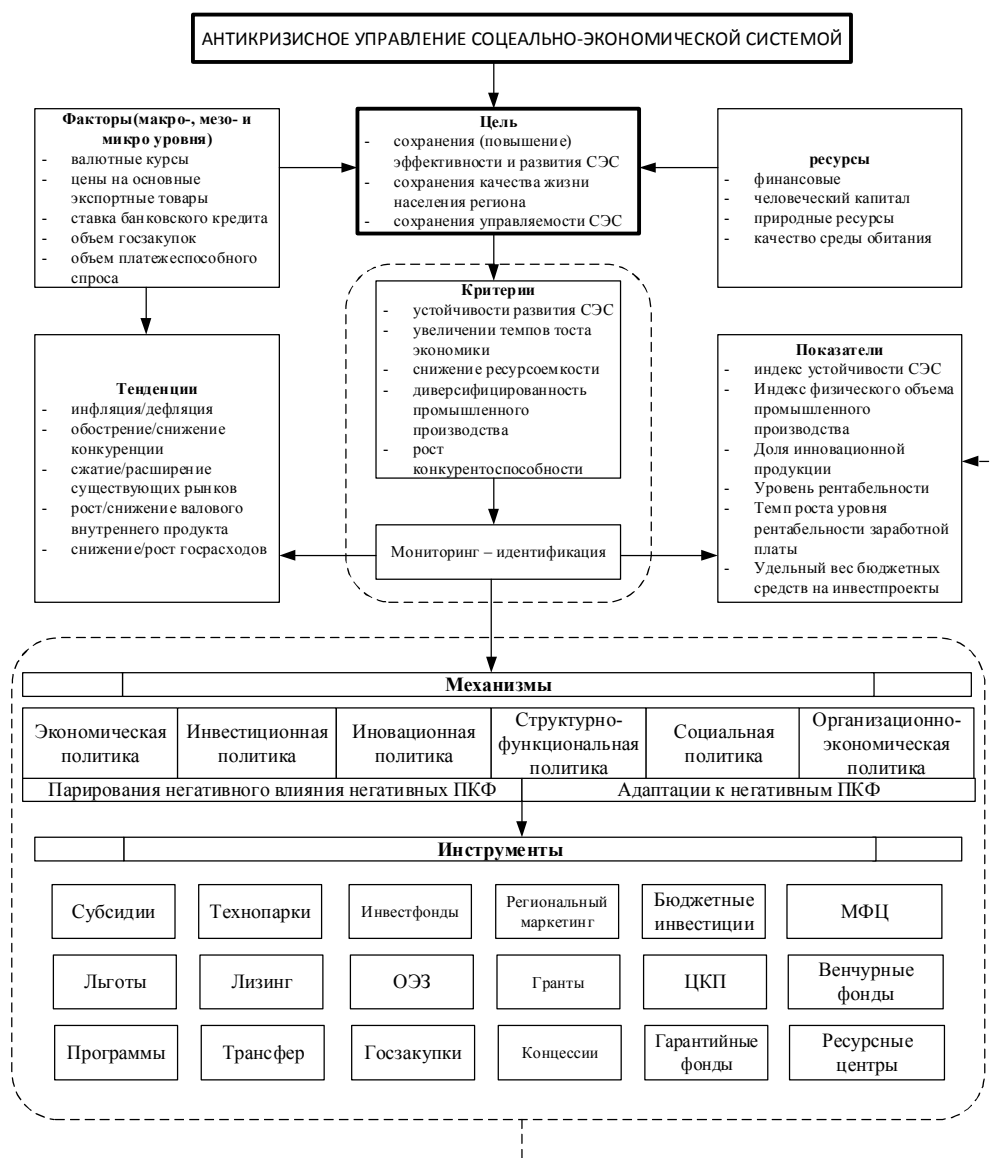


Рисунок 1 –Антикризисное управление СЭС (регионов)

Основное в антикризисном управлении – быстрая реакция на изменения в поведении СЭС, в связи с изменениями ПКФ и внешней среды на основе предварительно разработанных прогнозов, альтернативных вариантов анализа и развития ситуации.

В процессе антикризисного управления используются в основном те управленческие инструменты, которые дают возможность устранить осложнения в поведении СЭС. Важным в антикризисном управлении системой, связанном с влиянием негативных ПКФ, является формирование подготовленного кадрового потенциала путем отбора, подготовки и переподготовки квалифицированных специалистов, которые способны принимать нестандартные, рискованные антикризисные решения, быть устойчивыми к стрессовым ситуациям, возникающим в условиях кризиса и негативных ПКФ, и использования средств мотивации (стимулирования), направленных на стимулирование и решение кризисных проблем.

Процесс антикризисного управления должен обеспечивать целенаправленность, последовательность, своевременность и полноту принятия решений и может быть представлен состоящим из ряда этапов:

1 этап – разработка плана действий, формирование информационной базы, необходимой для разработки антикризисной программы;

2 этап – диагностика и прогнозирование кризисной ситуации, оценка параметров кризиса: экспресс-анализ отклонения параметров от нормы; выявление причин и прогнозирование возможных вариантов развития кризиса, масштаба убытков, оценка факторов, которые влияют на развитие кризисных ситуаций; создание обратной связи для изучения причин и последствий развития кризиса;

3 этап – проработка версий и гипотез о направлениях учёта и смягчения кризисного состояния, вызванного факторами ПКФ: уточнение и углубление реалистичности планов преодоления кризисной ситуации; совершенствование подходов к рассмотрению проблем и принятию управленческих решений; аргументация альтернативных вариантов планов учёта и смягчения кризиса и предвидения риска каждого из них;

4 этап – уточнение антикризисной модели управления, проработка методов стимулирования и мотивации персонала: оптимизация инновационных процессов в случае разрушения действующей системы управления СЭС; проектирование и создание более эффективной системы управления; проработка и использование методов стимулирования и мотивации.

5 этап – мониторинг внешних и внутренних факторов, которые влияют на экономико-экологическое состояние СЭС.

Главной задачей антикризисного управления СЭС, является обеспечение сбалансированного устойчивого функционирования и развития, в результате своевременного реагирования на изменения, вызванные ПКФ и внешней средой посредством использования антикризисных инструментов.

Антикризисные мероприятия можно подразделить на стратегические и тактические.

Стратегические заключаются в анализе и оценке состояния СЭС, изучении производственного, природно-климатического и природно-ресурсного потенциала, разработки региональных программ, политики доходов, инноваций, стратегии, общей концепции оздоровления. Тактические – в определении своевременного состояния доходов, убытков, выявлении резервов, привлечении кредитных мероприятий в структурных изменениях экономики СЭС и т.п.

В зависимости от этапа развития кризиса можно выделить два вида антикризисного управления: превентивный и кризисный, в соответствии с которыми возможна реализация разных по своим функциональным назначениям и содержаниям этапов антикризисного управления, а именно: превентивного и кризисного.

Государственное антикризисное управление предоставляется механизмами адаптации к негативным ПКФ, механизмами парирования отрицательных проявлений ПКФ, механизмами антикризисного управления в областях экономической, инвестиционной, инновационной, социальной, организационной политики и инструментами: субсидии, гранты, льготное налогообложение, дотации, субвенции, талоны, выпуск альтернатив государственной денежной единицы и многое другое (рис. 1) [1, 4, 5].

В распоряжении государственных органов управления находится огромный арсенал, прямых и косвенных методов регулирования, создающих область возможных или допустимых решений. Границы, формируемые при прямых формах управления, являются жесткими и однозначно определенными, их нарушение влечет за собой административное и правовое наказания, но не подразумевает однозначного следования им, хотя зачастую, ущерб либо потери, образующиеся в результате нарушения, несоизмеримо больше по сравнению с получаемой выгодой. При косвенном управлении границы весьма условны и их наличие определяется условиями системы поощрений и мотиваций. Эффективность косвенных методов со временем падает (премирование, как метод косвенного управления, эффективен до определенного этапа, пока усилия, прилагаемые для получения премии, соизмеримы с получаемым результатом).

При принятии решений управления в социально-экономических и производственных системах, функционирующих в условиях негативных ПКФ, и в следствии этого порождающих кризисные явления, необходимо использовать механизмы и технологии, характерные для антикризисного государственного управления (рис. 2).

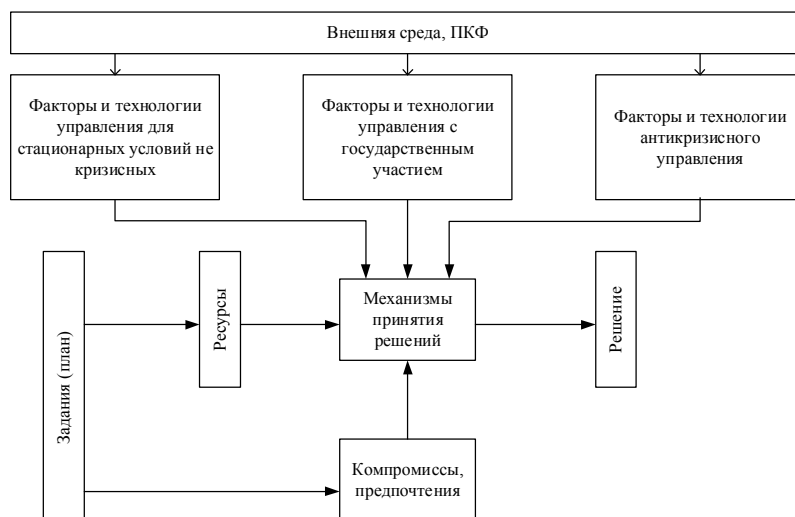


Рисунок 2 – Механизм принятия решений в СЭС

Используемые методы, инструменты и средства государственного антикризисного управления могут быть охарактеризованы как поддерживающие, так и ограничительные. Они и способствуют смягчению последствий негативных процессов, вследствие воздействия природно-климатических факторов, или предотвращению негативных и поддержке позитивных процессов. Поэтому задача выбора отдельного регулирующего метода (способа) или комбинации методов (способов) является чрезвычайно важной и, в то же время достаточно сложной, и зависит от состояния уровня развития СЭС и уровня воздействия ПКФ. Очевидно, что для этих целей целесообразно использовать комплексные многокритериальные модели оценки состояния и уровня развития СЭС.

Для реализации антикризисного управления СЭС необходимо определить интегральные показатели: индикаторы, оценивающие уровень подверженности кризисным явлениям, и специальные средства и механизмы принятия решений по выводу системы из кризисных ситуаций или по предупреждению появлений кризисных ситуаций (рис. 3).

Индикаторы определяются как параметры границ, в пределах которых может и должна проходить бескризисная траектория управления системой.

Индикаторы имеют предельные пороговые (минимальные и максимальные) уровни значений.

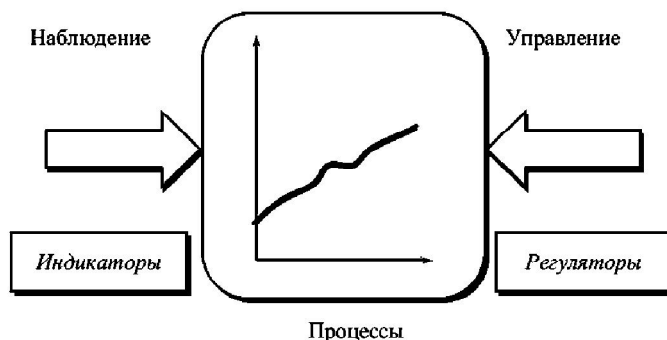


Рисунок 3 – Схема антикризисного управления социально-экономической системой

Особое место занимает определение и использование пороговых значений индикаторов, призванных сигнализировать о приближении кризисных состояний системы и необходимости принятия решения, т.е. включения регуляторов:

- индикаторы «тревоги» – подготовки;
- индикаторы «предкризисного состояния»;
- индикаторы «кризиса» и т.д.

Действие индикатора определяется не только количественными характеристиками, важно, чтобы индикатор был инструментальным, т.е. для него существовали бы регуляторы прямого воздействия на объект управления. Индикаторы основаны на показателях, характеризующих динамику функционирования и развития СЭС и ее состояние устойчивости.

Собственно процесс управления СЭС может быть основан (рис. 4) на мониторинге факторных показателей, их анализе (диагностировании) с учетом влияния на устойчивость развития системы и предсказуемость кризисов, прогнозе возможных изменений регуляторов и состояния устойчивости, оценки альтернативных вариантов и сценариев решений, построении планов действий по управлению системой и их последующей коррекции в процессе реализации стратегии антикризисного управления.



Рисунок 4 – Представления процесса антикризисного управления СЭС

Решение задачи мониторинга показателей и индикаторов связано с определением на основе первичной информации параметров границ индикаторов, в пределах которых управление системой может обеспечивать устойчивое ее развитие, и отслеживанием оценочных значений индикаторов. Если определено пороговое значение индикатора, его приближение служит сигналом «тревоги» или «кризисного состояния». Особенность решения этой задачи состоит в большом числе показателей, каждый из которых наблюдается в разрезе иерархически построенной системы показателей и требует упорядочения по временной шкале.

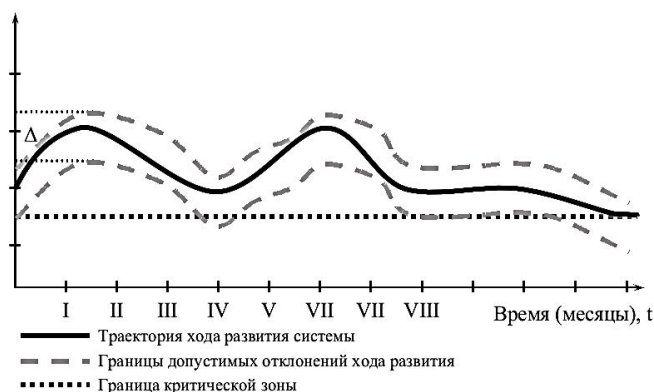


Рисунок 5 – Траектория хода развития системы

Решение задачи диагностирования связано с постановкой «диагноза» кризисного состояния системы – СЭС на основе данных, полученных в результате мониторинга, выделения факторов, влияющих на ход траектории управления, и нахождения регуляторов прямого воздействия, непосредственно влияющих на траекторию управления в целом.



Рисунок 6 – Обобщенная структурная схема системы управления СЭС

Сложность решения задачи диагностирования заключается в том, что наблюдение за состоянием системы производится косвенно, получаемые данные часто искажены либо содержат много «шумов», применение регуляторов имеет выраженный эффект «запаздывания». Задача прогнозирования состоит в определении круга воздействующих на прогнозируемые показатели или индикаторы факторов (регуляторов) и возможные траектории хода управления при принятии тех или иных решений. Основой для решения задачи прогнозирования являются сценарии, варьированием параметров которых можно оценивать возможный ход траектории. В рамках излагаемого подхода пределы изменения параметров ограничены пределами допустимых отклонений (рис. 5).

Система управления социально-экономической системой (СЭС) обобщенно состоит из четырех подсистем-модулей (рис. 6): модуль А, модуль В, модуль С, модуль D.

**Выводы.** Для социально-экономических систем регионального типа, функционирующих в неблагоприятных природно-климатических условиях, необходимо согласованное целенаправленное государственное антикризисное управление. Сформулированы концептуальные основы управления социально-экономическими системами, предполагающие использование в комплексе соответствующих механизмов и инструментов антикризисного государственного управления обеспечивает сохранения управляемости СЭС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходаков В. Е. Природно-климатические факторы и развитие социально-экономических систем : монография / В. Е. Ходаков, Н. А. Соколова, В. В. Крючковский – Херсон : Гринь Д.С., 2015. – 344 с.
2. Антикризисное управление / Под ред. Э.С. Минаева, В.П. Панагушина. – М. : Приор, 1998. – 432 с.
3. Пушкарь А. И. Антикризисное управление: стратегии, модели, механизмы / А. И. Пушкарь, А. Н. Тридед, А. Л. Колос – Харьков : ХДЕУ, 2001. – 452 с.
4. Антонова Н .Б. Государственное регулирование экономики : учебн. / Н. Б. Антонова – М. : Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2002. – 775 с.
5. Государственное регулирование экономики : учебн. пособ. / Т. Г. Морозова, Ю. М. Дурдыев, В. Ф. Тихонов – М. : Юнити-Дана, 2002. – 255 с.

## REFERENCES

1. Khodakov V. E. Prirodno-klimaticheskie faktorih i razvitie socialjno-ehkonomicheskikh sistem : monografiya / V. E. Khodakov, N. A. Sokolova, V. V. Kryuchkovskiyj – Kherson : Grinj D.S., 2015. – 344 s.
2. Antikrizisnoe upravlenie / Pod red. Eh. S. Minaeva, V. P. Panagushina. – M. : Prior, 1998. – 432 s.
3. Pushkarj A. I. Antikrizisnoe upravlenie: strategii, modeli, mekhanizmih / A. I. Pushkarj, A. N. Trided, A. L. Kolos – Kharjkov : KhDEU, 2001. – 452 s.
4. Antonova N .B. Gosudarstvennoe regulirovanie ehkonomiki : uchebn. / N. B. Antonova – M. : Akademiya upravleniya pri Prezidente Respubliki Belarusj, 2002. – 775 s.
5. Gosudarstvennoe regulirovanie ehkonomiki : uchebn. posob. / T. G. Morozova, Yu. M. Durdihev, V. F. Tikhonov – M. : Yuniti-Dana, 2002. – 255 s.

**Ходаков В.Є., Соколова Н.А. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ З УРАХУВАННЯМ ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ**  
*Для соціально-економічних систем регіонального типу, які функціонують в критичних природно-кліматичних умовах, необхідно державне антикризове управління. Використання для цього всього комплексу механізмів, інструментів, методів і моделей антикризового державного управління, дає можливість сталому розвитку соціально-економічній системі.*

**Ключові слова:** соціально економічні системи, природно-кліматичні умови.

**Khodakov V.E., Sokolova N.A. CONCEPTUAL ELEMENTS OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS CONSIDERING CLIMATIC FACTORS**

*The social and economic systems of regional type functioning in adverse, approached to critical, climatic conditions, require the coordinated purposeful public crisis management. Complex use of the corresponding mechanisms and instruments of crisis public administration ensures safety of controllability social and economic system.*

**Keywords:** social and economic systems, natural and climatic conditions.

© Ходаков В.Є., Соколова Н.А.

Статтю прийнято  
 до редакції 06.05.15



## **ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ**

## ОЦІНКА НЕБЕЗПЕКИ ФОРМУВАННЯ ТРІЩИН РІЗНОЇ ФОРМИ У СФЕРИЧНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Білий О.Л.

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів

У роботі проаналізовано критерії оцінки міцності та довговічності деяких сферичних конструкційних елементів, що містять тріщиноподібні дефекти. Базуючись на концепції «опірності конструкційного елемента росту тріщини», яка характеризується швидкістю зміни коефіцієнта інтенсивності напружень у вершині тріщини у процесі її розвитку в конкретному конструкційному елементі, запропоновано критерій оцінки міцності та надійності сферичних елементів конструкцій з тріщиноподібними дефектами.

**Ключові слова:** швидкість росту тріщини; сферичні елементи конструкцій; коефіцієнти інтенсивності напружень; показник опірності матеріалу росту тріщини.

**Вступ і постановка завдань роботи.** Інженерний досвід експлуатації різноманітних промислових конструкцій вказує на необхідність швидкого реагування на виявлені засобами неруйнівного контролю тріщиноподібні дефекти, що містяться в елементах конструкцій [1]. Враховуючи існуючий стан промислового обладнання, такі пошкодження погано прогножуються нормативними інструкціями та документами, оскільки вони виникають внаслідок тривалої експлуатації та неочікуваних відхилень від експлуатаційних режимів. Їх корозійно-механічна природа [2] зумовлена утворенням у місцях концентрації напружень. Однак тут також слід враховувати фізико-хімічні чинники локальної взаємодії напруженого металу з реальним робочим середовищем, що може змінити кінетику пошкоджуваності матеріалу та суттєво пришвидшити руйнування конструкційного елемента чи об'єкта в цілому. Крім того, незважаючи на певну різноплановість походження руйнуючих факторів, тут має місце локалізація фізико-хімічних та фізико-механічних процесів руйнування матеріалів [2]. Тому для оцінки ступеня пошкодженості елементів конструкцій слід застосовувати підходи механіки руйнування, що в поєднанні з сучасними неруйнівними методами досліджень дозволяє зробити комплексну експрес-оцінку того чи іншого пошкодженого об'єкту. У зв'язку з цим, мета даної роботи спрямована на визначення та розробку нових критеріальних характеристик величини існуючих тріщиноподібних дефектів у конструкційних елементах.

Однією з найважливіших характеристик опору матеріалу поширенню втомної тріщини є діаграма циклічної тріщиностійкості матеріалу, тобто залежність швидкості росту тріщини  $da/dN$  від коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН)  $K_I$  або  $\Delta K_I$  [3]. Такі діаграми розміщені між двома граничними значеннями: нижнім пороговим значенням  $\Delta K_{th}$ , яке відповідає значенню  $\Delta K_I$ , за якого не відбувається ріст корозійно-втомної тріщини, і верхнім  $\Delta K_{fc}$ , яке відповідає значенню  $\Delta K_I$ , коли настає спонтанний (катастрофічний) ріст тріщини. Слід зауважити, що незважаючи на значну кількість запропонованих у літературі аналітичних виразів для опису повної діаграми циклічної тріщиностійкості, найбільшого поширення в інженерній практиці набув підхід, за якого кожна з характерних ділянок діаграми описується степеневою залежністю типу Паріса [4]:

$$dc/dN = C_i \cdot (\Delta K)^{n_i}, \quad (1)$$

де  $C$  і  $n$  – константи, що характеризують систему «матеріал – середовище»;  $i$  – порядковий номер ділянки. Крім того, основою для оцінювання міцності та надійності конструкцій із тріщиноподібними дефектами за показником «опірності елемента конструкції росту тріщини» [2, 5] є швидкість зміни КІН  $K_I$  біля вершини тріщини глибиною  $a$  під час її росту в певному конструктивному елементі.

Для конструктивного елемента з тріщиноподібним дефектом заданої форми та заданого розташування запропоновано залежності типу:

$$\frac{\sqrt{t}}{p} \cdot \frac{dK_I}{da} = F\left(\frac{a}{t}\right), \quad (2)$$

де  $t$  – розмір конструктивного елемента в напрямку поширення тріщини;  $p$  – внутрішній тиск,  $a$  – глибина тріщини, яка є змінною величиною порівняно з  $t$ , який є постійним. Тому в подальшому розгляді результатів роботи введемо змінний параметр  $(a/t)^*$ , який характеризує ефективний розмір дефекту.

Слід відзначити, що характерною особливістю таких залежностей є те, що на них завжди спостерігається певне значення параметра  $(a/t)^*$ , починаючи з якого має місце різке зростання швидкості зміни коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_I$ . Це значення  $(a/t)^*$  розглядалось як характеристичне для оцінювання міцності та надійності елементів конструкцій з тріщиноподібними дефектами. Дефект, для якого значення цього параметру є найменшим, вважається найбільш небезпечним з точки зору ризику руйнування досліджуваних конструктивних елементів.

Для перевірки цього припущення в роботі вибрано сферичні конструктивні елементи, що містять різноманітні тріщиноподібні дефекти, а саме: отвори, біля яких, в свою чергу, розвивається тріщина, що може слугувати моделлю дефектності при виготовленні чи зварюванні виробів. Розглядали два випадки впливу внутрішнього тиску – це півеліптична тріщина на внутрішній поверхні сферичної оболонки (рис. 1а) та еліптична тріщина в стінці сферичної оболонки (рис. 1б).

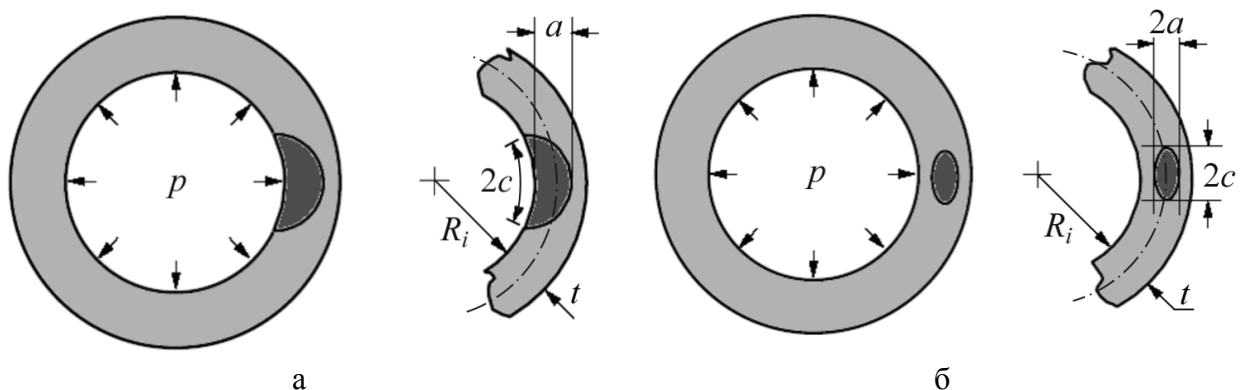


Рисунок 1 – Сферична оболонка під дією внутрішнього тиску з півеліптичною тріщиною на внутрішній поверхні (а) та з внутрішньою еліптичною тріщиною (центрованою) (б):  $a$  – глибина тріщини;  $2c$  – її ширина;  $R_i$  – внутрішній радіус;  $t$  – товщина стінки сфери;  $p$  – внутрішній тиск

У першому випадку (рис. 1а) КІН обчислювали за формулами [6]:

$$K_{Ia} = \sigma \left( 1 + \left( \left( \frac{R_a}{R_i} \right)^2 - 1 \right) \right) Y_a \sqrt{a}; \quad (3)$$

де

$$R_a = R_i + a; \quad \sigma = \frac{pR_i}{2t}; \quad Y_a = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{a}{t}}}(Y_1 + Y_2 + Y_3);$$

$$Y_1 = 1,6561 - 0,3944\left(\frac{a}{c}\right) - 0,46115\left(\frac{a}{c}\right)^2 + 0,33664\left(\frac{a}{c}\right)^3 +$$

$$+ \frac{a}{t} \left[ -0,78383 - 0,4868\left(\frac{a}{c}\right) - 0,57149\left(\frac{a}{c}\right)^2 + 1,1149\left(\frac{a}{c}\right)^3 \right];$$

$$Y_2 = \left(\frac{a}{t}\right)^2 \left[ 0,04206 + 13,568\left(\frac{a}{c}\right) - 23,844\left(\frac{a}{c}\right)^2 + 11,147\left(\frac{a}{c}\right)^3 \right];$$

$$Y_3 = \left(\frac{a}{t}\right)^3 \left[ 0,48946 - 18,201\left(\frac{a}{c}\right) + 33,969\left(\frac{a}{c}\right)^2 - 17,301\left(\frac{a}{c}\right)^3 \right].$$

а для схеми, показаної на рис. 1б КІН розраховували за методикою [7]:

$$K_{Ia} = F \frac{\sigma R_i}{R_a} \sqrt{\pi a} 0,97 \left( \frac{R_a^2 + R_i^2}{R_a^2 - R_i^2} + 0,5 \sqrt{\frac{a}{t}} \right) \frac{t}{R_i}; \quad (4)$$

де

$$R_a = R_i + \frac{t}{2}; \quad \sigma = \frac{pR_i}{2t}; \quad F = \frac{M_1 + M_2 \left(\frac{a}{t}\right)^2 + M_3 \left(\frac{a}{t}\right)^4}{\sqrt{Q}}; \quad Q = 1 + 1,464 \left(\frac{a}{c}\right)^{1,65};$$

$$M_1 = 1; \quad M_2 = \frac{0,05}{0,11 + \left(\frac{a}{c}\right)^{\frac{3}{2}}}; \quad M_3 = \frac{0,29}{0,23 + \left(\frac{a}{c}\right)^{\frac{3}{2}}}.$$

**Результати досліджень та їх обговорення.** Для кожного з розглянутих у вступі випадків було побудовано функцію  $F(a/t)$  (2). На основі проведених у роботі розрахунків оцінено ступінь небезпеки вищеописаних тріщиноподібних дефектів  $(a/t)^*$  у сферичних оболонках вказаних параметрів (рис. 1). Для цих об'єктів проводили моделювання геометричних параметрів сферичної оболонки зміною співвідношення  $R/t$ , а геометричних параметрів тріщиноподібного дефекту – зміною співвідношення  $a/c$ .

Для сферичної оболонки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску ступінь небезпеки внутрішніх півеліптичних тріщин (рис. 2, табл. 1) залежить від їх розмірів і підвищується зі зростанням відношення  $R/t$ , причому найбільш небезпечними є тріщиноподібні дефекти з найбільшими значеннями  $R/t$  та найбільшим значенням  $a/c$ .

Також слід відзначити, що порівняльне оцінювання півеліптичних тріщиноподібних дефектів різної форми  $a/c$  на внутрішній поверхні сферичної оболонки під дією внутрішнього тиску свідчить (рис. 2, табл. 2), що зі зростанням відношення  $a/c$ , (форма тріщини прямує до кільцевої), тріщини стають небезпечніші щодо ризику руйнування, оскільки значення  $(a/t)^*$  за  $a/c = 0,3$  є меншим, ніж за  $a/c = 0,1$ .

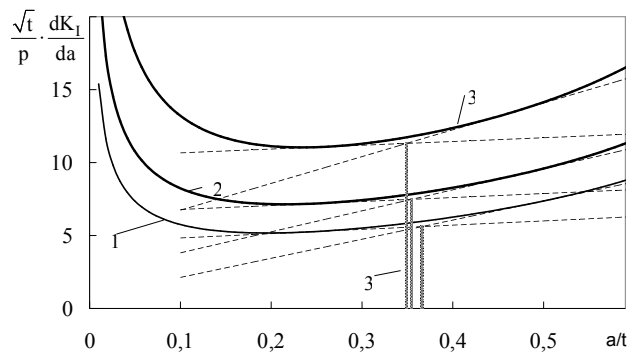


Рисунок 2 – Вплив розмірів сферичної оболонки під дією внутрішнього тиску на небезпеку внутрішніх півеліптичних тріщин (рис. 1) з параметром  $a/c = 0,1$ : 1 –  $R/t = 4$ ; 2 –  $R/t = 6$ ; 3 –  $R/t = 10$

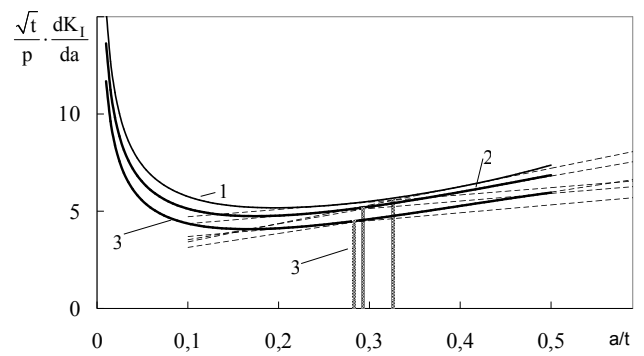


Рисунок 3 – Порівняльне оцінювання небезпеки півеліптичних тріщиноподібних дефектів різної форми  $a/c$  на внутрішній поверхні сферичної оболонки (рис. 1) зі співвідношенням  $R/t = 4$  під дією внутрішнього тиску: 1 –  $a/c = 0,1$ ; 2 –  $a/c = 0,2$ ; 3 –  $a/c = 0,3$

Розвиток еліптичних тріщиноподібних дефектів у стінці сферичної оболонки під дією внутрішнього тиску відчутно залежить від розмірів оболонки, тобто зі зростанням відношення  $R/t$  небезпека тріщиноподібних дефектів підвищується (рис. 4, табл. 1).

За сталого співвідношення  $R/t$  більш видовжені (з меншим значенням  $a/c = 0,2$ ) еліптичні тріщиноподібні дефекти в стінці сферичної оболонки, під дією внутрішнього тиску є суттєво небезпечніші, від менш видовжених ( $a/c = 0,8$ ) (рис. 5, табл. 2).

Таблиця 1 – Характеристичні значення параметра  $(a/t)^*$  для сферичної оболонки з внутрішньою півеліптичною тріщиною з параметрами  $a/c = 0,1$  та для сферичної оболонки з еліптичною тріщиною в її стінці з параметрами  $a/c = 0,5$  під дією внутрішнього тиску за різних значень  $R/t$

| Конструктивний елемент з дефектом                                         | $R/t$ | $(a/t)^*$ |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|
| Півеліптична тріщина на внутрішній поверхні сферичної оболонки            | 4     | 0,366     |
|                                                                           | 6     | 0,354     |
|                                                                           | 10    | 0,349     |
| Еліптична тріщина у стінці сферичної оболонки під дією внутрішнього тиску | 4     | 0,566     |
|                                                                           | 6     | 0,542     |
|                                                                           | 10    | 0,518     |

Таблиця 2 – Характеристичні значення параметра  $(a/t)^*$  для сферичної оболонки з параметрами  $R/t = 4$  під дією внутрішнього тиску з різними півеліптичними тріщинами на внутрішній поверхні та з різними еліптичними тріщинами в її стінці під дією внутрішнього тиску

| Конструктивний елемент з дефектом                                         | $a/c$ | $(a/t)^*$ |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|
| Півеліптична тріщина на внутрішній поверхні сферичної оболонки            | 0,1   | 0,326     |
|                                                                           | 0,2   | 0,293     |
|                                                                           | 0,3   | 0,283     |
| Еліптична тріщина у стінці сферичної оболонки під дією внутрішнього тиску | 0,2   | 0,492     |
|                                                                           | 0,5   | 0,566     |
|                                                                           | 0,8   | 0,630     |

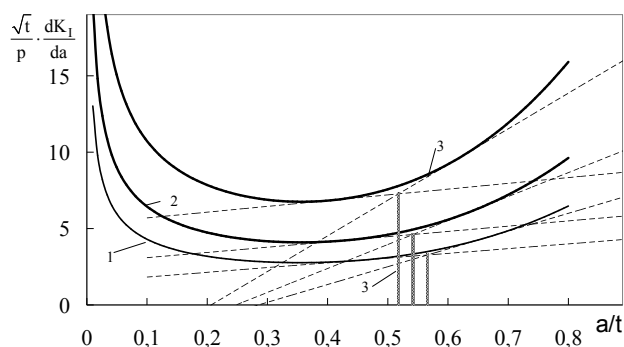


Рисунок 4 – Вплив зміни розмірів сферичної оболонки під дією внутрішнього тиску на небезпеку еліптичних тріщин в її стінці (рис. 1) з параметром  $a/c = 0,5$ : 1 –  $R/t = 4$ ; 2 –  $R/t = 6$ ; 3 –  $R/t = 10$

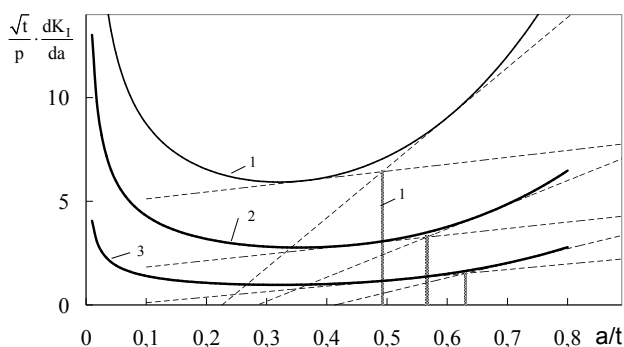


Рисунок 5 – Порівняльне оцінювання небезпеки еліптичних тріщиноподібних дефектів різної форми  $a/c$  у стінці сферичної оболонки (рис. 1) зі співвідношенням  $R/t = 4$  під дією внутрішнього тиску: 1 –  $a/c = 0,2$ ; 2 –  $a/c = 0,5$ ; 3 –  $a/c = 0,8$

**Висновки.** Вперше запропоновано метод оцінювання небезпеки від різних тріщиноподібних дефектів, що містяться в сферичних елементах конструкцій на основі показника «опірності елемента конструкції росту тріщини», який є характеристикою швидкості зміни коефіцієнта інтенсивності напружень з розвитком тріщини

$$\frac{\sqrt{t}}{p} \cdot \frac{dK_I}{da} = F\left(\frac{a}{t}\right)$$
. Здійснено апробацію запропонованого методу для таких об'єктів та

встановлено характеристичні значення розміру дефекту  $(a/t)^*$ , починаючи з якого має місце різке зростання швидкості зміни коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_I$ , а відтак, і ризику руйнування конструктивного елемента. Оцінено небезпеку появи тріщиноподібних дефектів різної геометрії та розміщення, що містяться в сферичних конструкціях.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Цільова комплексна програма наукових досліджень НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» // 36. наук. статей за результатами, отриманими в 2007–2009 рр. / За заг. ред. Б. Є. Патона. – К. : Ін-т електровзарювання ім. Є. О. Патона, 2009. – 709 с.
2. Дмитрах І. М. Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень / Дмитрах І. М., Панасюк В. В. – Львів : Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка, 1999. – 341 с.
3. Панасюк В. В. Характеристики корозійної тріщиностійкості матеріалів та їх значення в проблемі забезпечення експлуатаційної надійності теплоенергетичного обладнання. Ч. I / Панасюк В. В., Дмитрах І. М., Вайнман А. Б. [та ін.] // Енергетика та електрифікація. – 1998. – № 6. – С. 29-35.
4. Paris P. A critical analysis of crack propagation laws[текст] / Paris P., Erdogan F. // Trans. ASME : J. Basic Eng. – 1963. – 15, № 4. – P. 528-534.
5. Дмитрах І. М. Механіка руйнування і міцність матеріалів // Дмитрах І. М., Вайнман А. Б., Стащук М. Г. [та ін.]; довідн. пос. за заг. ред. В. В. Панасюка. Т. 7: Надійність та довговічність елементів конструкцій теплоенергетичного устаткування / За ред. І. М. Дмитраха. – К. : Академперіодика, 2005. – 378 с.
6. Lim E.Y., Dedhia D. D., Harris D. O. Approximate Influence Functions for Part-Circumferential Interior Surface Cracks in Pipes // Fracture Mechanics: Fourteenth Symposium: Volume I: Theory and Analysis (STP 791) / Ed. by J. C. Lewis, G. Sines. – ASTM, 1983. – P. 281-296.

7. Newman J. C., Raju I. S. Stress Intensity Factor Equations for Cracks in Three-Dimensional Finite Bodies // Fracture Mechanics: Fourteenth Symposium: Volume I: Theory and Analysis (STP 791) / Ed. by J. C. Lewis, G. Sines. – ASTM, 1983. – P. 238-265.

## REFERENCES

1. Ciljova kompleksna programa naukovikh doslidzhenj NAN Ukraïni «Problemi resursu i bezpeki ekspluataciï konstrukciyj, sporud ta mashin» // Zb. nauk. stateyj za rezul'tatami, otrimanimi v 2007–2009 rr. / Za zag. red. B. Є. Patona. – K. : In-t elektrozvayuvannya im. Є. O. Patona, 2009. – 709 c.
2. Dmitrakh I. M. Vpliv korozijnykh seredovith na lokaljne ruyjnuvannya metaliv bilya koncentratoriv napruzhenj / Dmitrakh I. M., Panasyuk V. V. – L'viv : Fiz.-mekh. in-t im. G. V. Karpenka, 1999. – 341 s.
3. Panasyuk V. V. Kharakteristiki korozijnoï trithinostiyykosti materialiv ta ikh znachennya v problemi zabezpechennya ekspluatsiynnoï nadiyynosti teploenergetichnogo obladnannya. Ch. I / Panasyuk V. V., Dmitrakh I. M., Vaynman A. B. [ta in.] // Energetika ta elektrifikaciya. – 1998. – № 6. – S. 29-35.
4. Paris P. A critical analysis of crack propagation laws[tekst] / Paris P., Erdogan F. // Trans. ASME : J. Basic Eng. – 1963. – 15, № 4. – P. 528-534.
5. Dmitrakh I. M. Mekhanika ruyjnuvannya i micnistj materialiv // Dmitrakh I. M., Vaynman A. B., Stathuk M. G. [ta in.]; dovidn. pos. za zag. red. V. V. Panasyuka. T. 7: Nadiyynistj ta dovgovichnistj elementiv konstrukciyj teploenergetichnogo ustatkuvannya / Za red. I. M. Dmitrakha. – K. : Akadempriodika, 2005. – 378 s.
6. Lim E.Y., Dedhia D. D., Harris D. O. Approximate Influence Functions for Part-Circumferential Interior Surface Cracks in Pipes // Fracture Mechanics: Fourteenth Symposium: Volume I: Theory and Analysis (STP 791) / Ed. by J. C. Lewis, G. Sines. – ASTM, 1983. – P. 281-296.
7. Newman J. C., Raju I. S. Stress Intensity Factor Equations for Cracks in Three-Dimensional Finite Bodies // Fracture Mechanics: Fourteenth Symposium: Volume I: Theory and Analysis (STP 791) / Ed. by J. C. Lewis, G. Sines. – ASTM, 1983. – P. 238-265.

### **Білий О.Л. ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕЩИН РАЗНОЙ ФОРМЫ В СФЕРИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

*В работе проанализированы критерии оценки прочности и долговечности сферических конструктивных элементов, содержащих трещиноподобные дефекты. Основываясь на концепции «сопротивляемости конструктивного элемента роста трещины», которая характеризуется скоростью изменения коэффициента интенсивности напряжений в вершине трещины в процессе ее развития в конкретном конструктивном элементе, применен критерий оценки прочности и надежности сферических элементов конструкций, содержащих трещиноподобные дефекты.*

**Ключевые слова:** скорость роста трещины; сферические элементы конструкций; коэффициенты интенсивности напряжений; показатель сопротивляемости материала роста трещины.

### **Bilyy O.L. ASSESSMENT OF DANGER OF CRACKS FORMING VARIOUS FORM IN A SPHERICAL STRUCTURAL ELEMENT**

*The work is analyzed evaluation criteria of strength and durability spherical structural elements containing crack defects. Based on the concept of «resistance to crack growth structural element» this is characterized by the rate of change stress intensity factor at the crack tip in the process of development in a particular structural element. Here is proposed criterion for assessing the strength and reliability of structural elements with spherical crack-like defects.*

**Keywords:** crack growth rate; spherical structural elements; stress intensity factor; rate of crack growth resistance material.

© Білий О.Л.

Статтю прийнято  
до редакції 16.06.15

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ СЕУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН

**Брайло М.В., Бень А.П., Скирденко В.О., Рудакова Г.В., Акімов О.В.**

*Херсонська державна морська академія*

**Білий Л.М.**

*Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів*

*Проаналізовано динаміку теплофізичних властивостей композитних матеріалів при введенні різних за природою та дисперсністю часток наповнювачів. Методом термогравіметричного та диференційно-термічного аналізу встановлено, що матеріал із вмістом часток ВШ (30 мас.ч) + ЗС (20 мас.ч) характеризується найвищою кінцевою температурою втрати маси  $T = 730\text{ K}$  і, водночас, відзначається максимальним температурним інтервалом екзоефекту, який становить  $\Delta T_1 = 477\text{ K}$ . Проаналізовано, що найбільше значення відносної втрати маси характерне для епоксидної матриці та становить  $\epsilon_m = 56,0\%$ . При цьому найменшою втратою маси ( $\epsilon_m = 33,3\%$ ), максимальним значенням температури піка екзоефекту ( $T_{\max} = 525\text{ K}$ ), максимальним значенням температури склування ( $T_c = 333\text{ K}$ ) та найменшою усадкою ( $\Delta V = 0,39 \times 10^{-9}\text{ м}^3$ ) характеризується матеріал із вмістом часток ВШ (10 мас.ч) + ЗС (40 мас.ч). На основі проведеного аналізу встановлено, що матеріал із вмістом двокомпонентного бідисперсного наповнювача – ВШ (10 мас.ч) + ЗС (40 мас.ч) характеризується найвищими показниками термостійкості, порівняно з іншими досліджуваними матеріалами.*

*Ключові слова: епоксидний композит, теплофізичні властивості, наповнювач*

**Постановка проблеми.** На сьогодні проблема модифікації епоксидних олігомерів з метою створення композитів для захисних покриттів з підвищеними експлуатаційними характеристиками не втрачає своєї актуальності. Для поліпшення властивостей епоксидних композитних матеріалів (КМ) все частіше використовують пластифікатори, модифікатори, каталізатори, ініціатори й інші добавки та пігменти. При цьому вартість таких матеріалів стрімко зростає.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для зменшення вартості та, водночас, поліпшення властивостей композитів у епоксидний зв'язувач вводять наповнювачі різної фізичної природи і дисперсності. Введення добавок у епоксидний олігомер передбачає створення КМ, які можливо використовувати у критичних умовах експлуатації, що дозволяє застосовувати такі композити в різних галузях промисловості. Додатково показано [1, 2], що підвищення характеристик епоксидних композитів досягають при введенні наповнювачів різної дисперсності та фізичної природи в комплексі. При цьому оптимізацію таких добавок у зв'язувачі виконують переважно математичними методами, що дозволяє за короткий період часу та мінімальній кількості проведених експериментів отримати матеріал з необхідним комплексом властивостей.

Водночас значну увагу на сьогодні приділяють матеріалам, які експлуатуються в умовах підвищених температур. Тому пошук нових шляхів і можливостей для створення функціональних матеріалів з широким спектром фізико-механічних, теплофізичних властивостей є актуальним завданням для сучасного полімерного матеріалознавства.

**Мета роботи** – дослідити вплив двокомпонентного бідисперсного наповнювача на теплофізичні властивості епоксидних композитів.

**Матеріали та методика дослідження.** Як основний компонент для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Зшивали КМ, вводячи твердник у композицію при стехіометричному співвідношенні компонентів за вмістом (мас.ч.) – ЕД-20: ПЕПА – 100 : 10.

Як наповнювачі при формуванні КМ було використано частки вугільного шлаку (ВШ) з дисперсністю 63...80 мкм і залізного сурику (ЗС) з дисперсністю 10...20 мкм.

Епоксидний композит формували за наступною технологією: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20 і наповнювача та подальше введення його в епоксидний зв'язувач; гідродинамічне суміщення олігомеру ЕД-20 і дисперсних часток; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції впродовж часу  $\tau = 300 \pm 10$  с. Надалі затверджували КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримання впродовж часу  $\tau = 12,0 \pm 0,1$  год при температурі  $T = 293 \pm 2$  К, нагрівання зі швидкістю  $v = 0,05$  К/с до температури  $T = 393 \pm 2$  К, витримання КМ впродовж часу  $\tau = 2,0 \pm 0,05$  год, повільне охолодження до температури  $T = 293 \pm 2$  К. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували впродовж часу  $\tau = 24$  год на повітрі при температурі  $T = 293 \pm 2$  К з наступним проведенням експериментальних випробувань.

У роботі досліджували наступні властивості КМ: теплостійкість (за Мартенсом), термічний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР), термостійкість.

Теплостійкість (за Мартенсом) КМ визначали згідно з ГОСТ 21341-75. Методика дослідження полягає у визначенні температури, при якій досліджуваний зразок нагрівали зі швидкістю  $v = 3$  К/хв під дією постійного згинаючого навантаження  $F = 5 \pm 0,5$  МПа, внаслідок чого він деформується на задану величину ( $h = 6$  мм).

ТКЛР зразків розраховували за кривою залежності відносної деформації від температури, апроксимуючи цю залежність експоненціальною функцією. Відносну деформацію визначали за зміною довжини зразка при підвищенні температури у стаціонарних умовах (ГОСТ 15173-70). Розміри зразків для дослідження:  $65 \times 7 \times 7$  мм, непаралельність шліфованих торців складала не більше 0,02 мм. Перед дослідженням вимірювали довжину зразків з точністю  $\pm 0,01$  мм. Швидкість підвищення температури становила  $v = 2$  К/хв.

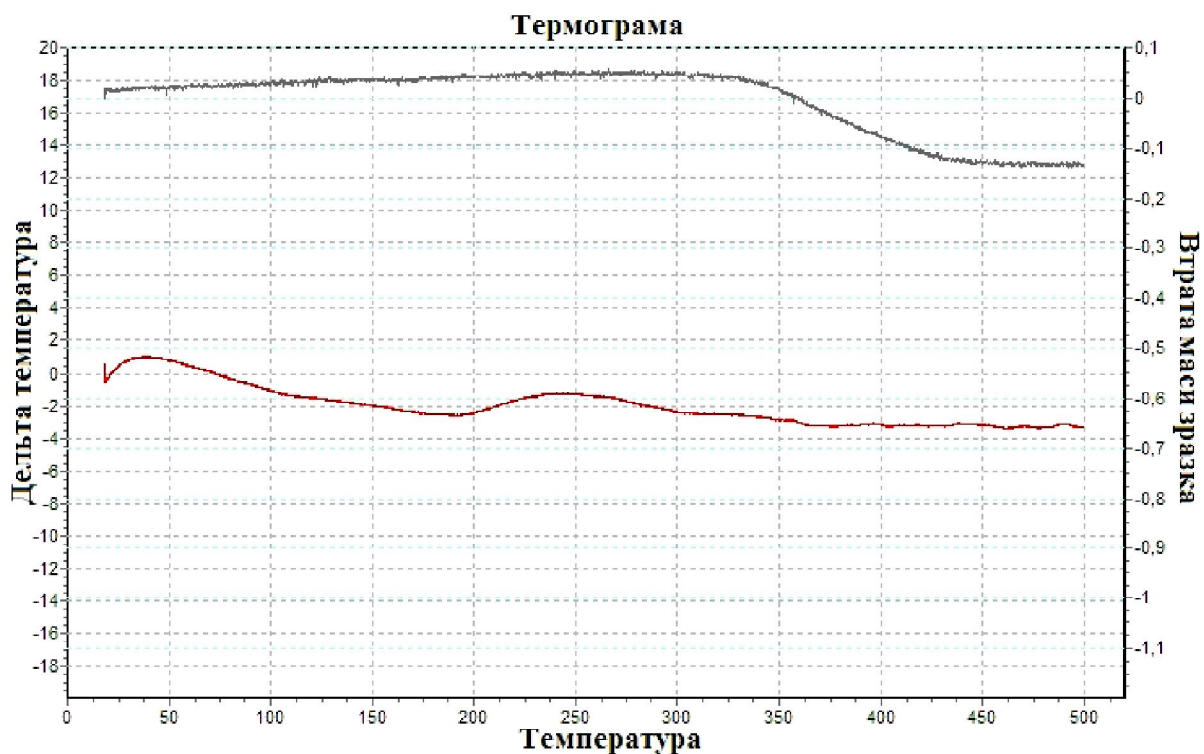
Для дослідження впливу природи та вмісту двокомпонентного бідисперсного наповнювача на термічні перетворення епоксидних композитів застосовували метод термогравіметричного (ТГА) і диференціально термічного аналізу (ДТА), використовуючи дериватограф «Thermoscan-2». Дослідження проводили у температурному діапазоні  $\Delta T = 298...773$  К, використовуючи кварцові тиглі для зразків об'ємом  $V = 0,5$  см<sup>3</sup>. Під час дослідження швидкість підвищення температури становила  $v = 10$  К/хв, при цьому як еталонну речовину використовували  $Al_2O_3$  ( $m = 0,5$  г), а наважка досліджуваного зразка становила  $m = 0,3$  г. Похибка визначення температури становила  $\Delta T = \pm 1$  К. Точність визначення теплових ефектів – 3 Дж/г. Точність визначення зміни маси зразка –  $\Delta m = 0,02$  г.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Вміст основного та додаткового наповнювачів при формуванні КМ вибрано на основі попередніх результатів постановки активного експерименту. Досліджували незалежно епоксидну матрицю (контрольний зразок) та матеріали за різного вмісту двокомпонентного бідисперсного наповнювача ( $q_1 + q_2$ ), мас.ч.: КМ 1 – ВШ (10) + ЗС (40), КМ 2 – ВШ (20) + ЗС (30), КМ 3 – ВШ (30) + ЗС (20).

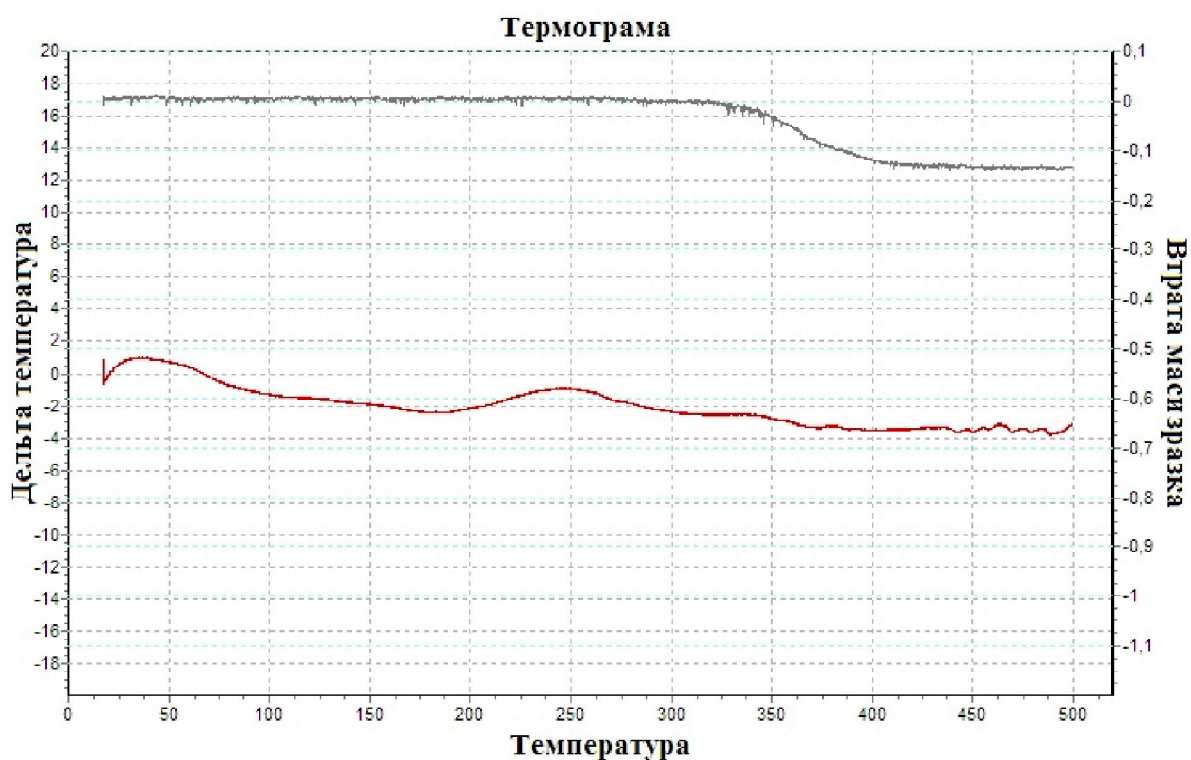
Загальновідомо, що температура впливає на властивості матеріалу. До основних властивостей КМ, залежних від температури, належить в'язкість руйнування при тривалій експлуатації [3]. Тому важливим при формуванні епоксидних композитів і захисних покриттів на їх основі є передбачення їх поведінки при підвищених температурах. Виходячи з цього, методом термогравіметричного (ТГА) та диференційно-термічного (ДТА) аналізу досліджували термостійкість розроблених матеріалів (рис. 1).

Аналіз ТГА кривих у температурній області  $\Delta T = 303...538$  К дозволив виявити відсутність втрати маси матеріалів відносно еталону ( $Al_2O_3$ ) (рис. 1). Це вказує на відсутність води та непрореагованих компонентів зв'язувача під час полімеризації.

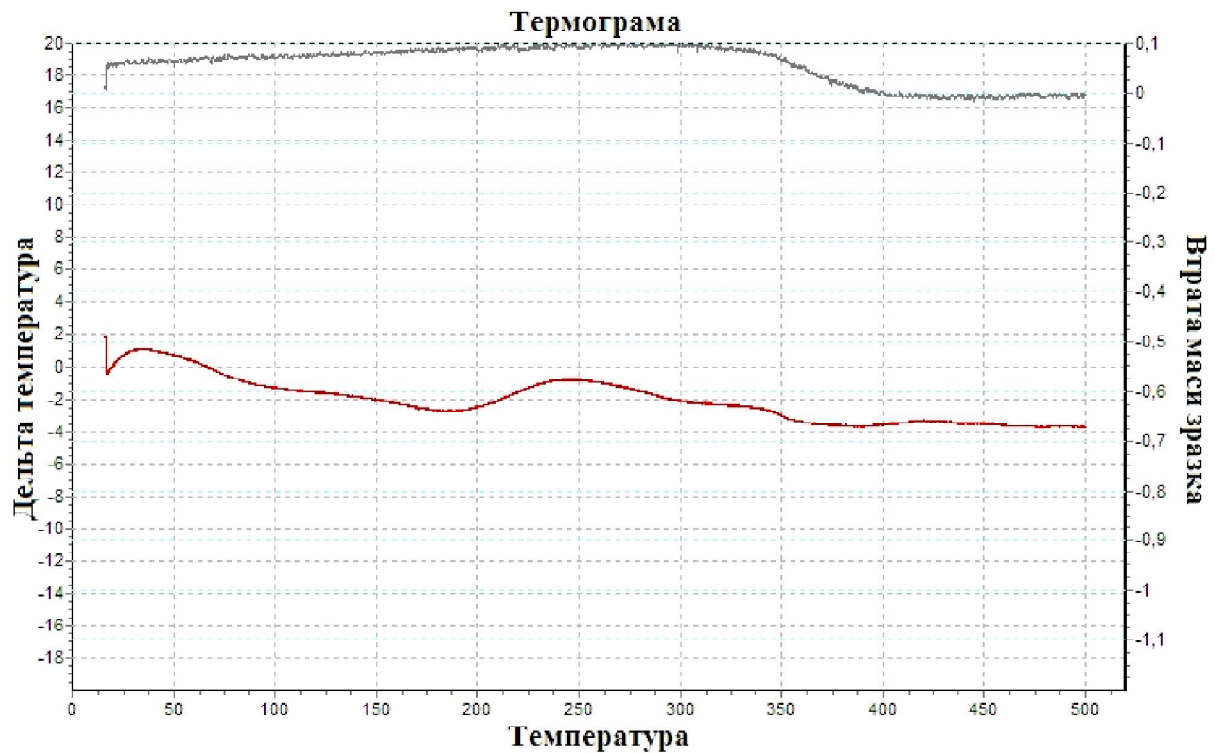
Додатково процес супроводжується появою ендоефекту на кривих ДТА (на усіх досліджуваних КМ), що опосередковано свідчить про доотвердження матеріалів при підвищенні температури.



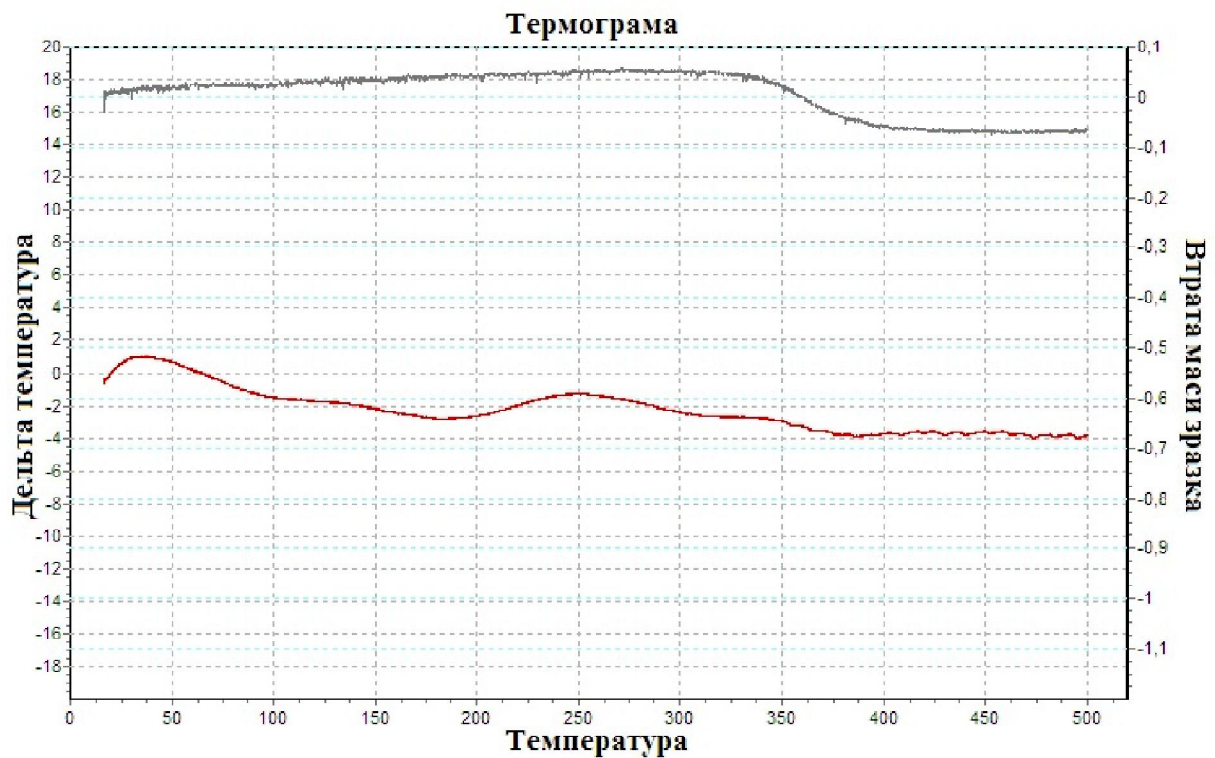
a)



б)



в)



г)

Рисунок 1 – Результати диференціально-термічного (ДТА) і термогравіметричного аналізу (ТГА) для КМ із вмістом часток, мас.ч.:

- а) матриця (контрольний зразок); б) КМ 1 – ВШ (10) + ЗС (40); в) КМ 2 – ВШ (20) + ЗС (30); г) КМ 3 – ВШ (30) + ЗС (20)

З огляду на дані ТГА кривих (рис. 1) процес термічної деструкції досліджуваних епоксидних композитів можна поділити на три стадії:

- перша стадія – початкова деструкція ( $\Delta T = 576 \dots 592$  K);

– друга стадія – інтенсивна деструкція ( $\Delta T = 616 \dots 678$  K), при якій інтенсивну втрату маси для матриці спостерігали в діапазоні  $\Delta T = 616 \dots 641$  K, а для КМ – у діапазоні  $\Delta T = 624 \dots 678$  K;

– третя стадія – кінцева деструкція ( $\Delta T = 723 \dots 773$  K); для матриці кінцеву втрату маси спостерігали при температурі  $T = 723$  K, для КМ у діапазоні  $\Delta T = 726 \dots 730$  K. При цьому відбувається виділення основної частини газоподібних продуктів розкладу: води, оксидів і діоксидів вуглецю та ін. Водночас слід зазначити, що розташування ТГА-кривої у температурному інтервалі  $\Delta T = 743 \dots 773$  K свідчить про вплив на деструкцію зразків введеного у зв'язувач наповнювача.

Встановлено, що матеріал із вмістом часток ВШ (30 мас.ч) + ЗС (20 мас.ч) характеризується найвищою кінцевою температурою втрати маси  $T = 730$  K (табл. 1) і водночас відзначається максимальним температурним інтервалом екзоефекту, який становить  $\Delta T_1 = 477$  K (табл. 2). Це дає можливість стверджувати, що такий композит відзначається не тільки термостабільністю, але й покращеними фізико-механічними властивостями. Отримані результати узгоджуються з результатами випробовувань фізико-механічних властивостей ( $\sigma_{32} = 82,2$  МПа,  $E = 5,9$  ГПа).

Додатково встановлено, що найбільше значення відносної втрати маси характерне для епоксидної матриці та становить  $\varepsilon_m = 56,0$  %. Для досліджуваних КМ значення відносної втрати маси сягає значень  $\varepsilon_m = 33,3 \dots 50,6$  % (табл. 1). При цьому найменшою втратою маси характеризується матеріал із вмістом часток ВШ (10 мас.ч) + ЗС (40 мас.ч) ( $\varepsilon_m = 33,3$  %), що свідчить про гальмування деструкційних процесів і, як наслідок, збільшення термостійкості досліджуваного матеріалу.

Таблиця 1 – Термостійкість КМ з різним вмістом двокомпонентного бідисперсного наповнювача

| Вміст наповнювача,<br><i>q</i> , мас.ч. | $T_0$ , K | $T_5$ , K | $T_{10}$ , K | $T_{20}$ , K | $T_k$ , K | $\varepsilon_m$ , % |
|-----------------------------------------|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|---------------------|
| -                                       | 576       | 612       | 622          | 636          | 724       | 56,0                |
| ВШ (10) + ЗС (40)                       | 576       | 612       | 623          | 640          | 726       | 33,3                |
| ВШ (20) + ЗС (30)                       | 576       | 611       | 623          | 636          | 714       | 39,6                |
| ВШ (30) + ЗС (20)                       | 592       | 612       | 623          | 637          | 730       | 50,6                |

Примітка:  $T_0$  – початкова температура втрати маси (початок деструкції);  $T_5$ ,  $T_{10}$ ,  $T_{20}$  – температури втрати маси (5 %, 10 %, 20 %);  $T_k$  – кінцева температура втрати маси (завершення деструкції);  $\varepsilon_m$  – відносна втрата маси.

За допомогою кривих ДТА додатково встановлено екзотермічні ефекти, які відбуваються при нагріванні КМ (табл. 2). Найменше значення температури піка екзоефекту  $T_{max} = 514$  K встановлено для епоксидної матриці, що свідчить про нестабільність таких матеріалів в умовах впливу теплового поля. Максимальне значення температури піка екзоефекту  $T_{max} = 525$  K встановлено для матеріалу з вмістом часток ВШ (10 мас.ч) + ЗС (40 мас.ч), при цьому зміщення піка екзоефекту у область високих температур свідчить про підвищення термостійкості сформованого матеріалу.

Таблиця 2 – Температурні інтервали екзоефектів згідно ДТА

| Вміст наповнювача,<br><i>q</i> , мас.ч. | Температурні інтервали екзоефектів |           |                  |                  | Максимальне<br>значення<br>екзоефектів,<br>$T_{max}$ , K |
|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------|------------------|------------------|----------------------------------------------------------|
|                                         | $T_n$ , K                          | $T_k$ , K | $\Delta T_1$ , K | $\Delta T_2$ , K |                                                          |
| -                                       | 464                                | 649       | 458              | 2,04             | 514                                                      |
| ВШ (10) + ЗС (40)                       | 460                                | 663       | 476              | 2,89             | 525                                                      |
| ВШ (20) + ЗС (30)                       | 455                                | 660       | 483              | 2,71             | 521                                                      |
| ВШ (30) + ЗС (20)                       | 457                                | 661       | 477              | 2,68             | 519                                                      |

Примітка:  $T_n$  – початкова температура екзоефекту;  $T_k$  – кінцева температура екзоефекту;  $\Delta T_1$  – температурний інтервал екзоефекту;  $\Delta T_2$  – різниця температур між зразком, у якому відбуваються перетворення, і еталомом, у якому перетворень немає.

На основі проведеного термогравіметричного та диференційно-термічного аналізу можна стверджувати, що матеріал із вмістом двокомпонентного бідисперсного наповнювача – ВШ (10 мас.ч) + ЗС (40 мас.ч) характеризується найвищими показниками термостійкості, порівняно з іншими досліджуваними матеріалами.

Отримані дані добре узгоджуються з результатами дослідження теплостійкості та термічного коефіцієнта лінійного розширення композитів. Крім того, в результаті аналізу дилатометричних кривих (рис. 2) у роботі додатково визначали температуру склування ( $T_c$ ) та усадку КМ (табл. 3), яка відбувається в результаті впливу теплового поля на зразок під час дослідження.

Експериментально встановлено (табл. 3), що серед усього спектру досліджуваних матеріалів максимальним значенням температури склування ( $T_c = 333$  К) і найменшою усадкою ( $\Delta V = 0,39 \times 10^{-9} \text{ м}^3$ ) відзначається композит КМ 1, що містить частки ВШ (10 мас.ч.) + ЗС (40 мас.ч.). Додатково, аналіз результатів випробувань показує, що показники теплостійкості системно корелюють зі значеннями температури склування. Як правило, підвищення температури склування приводить до зростання значень теплостійкості досліджуваних матеріалів.

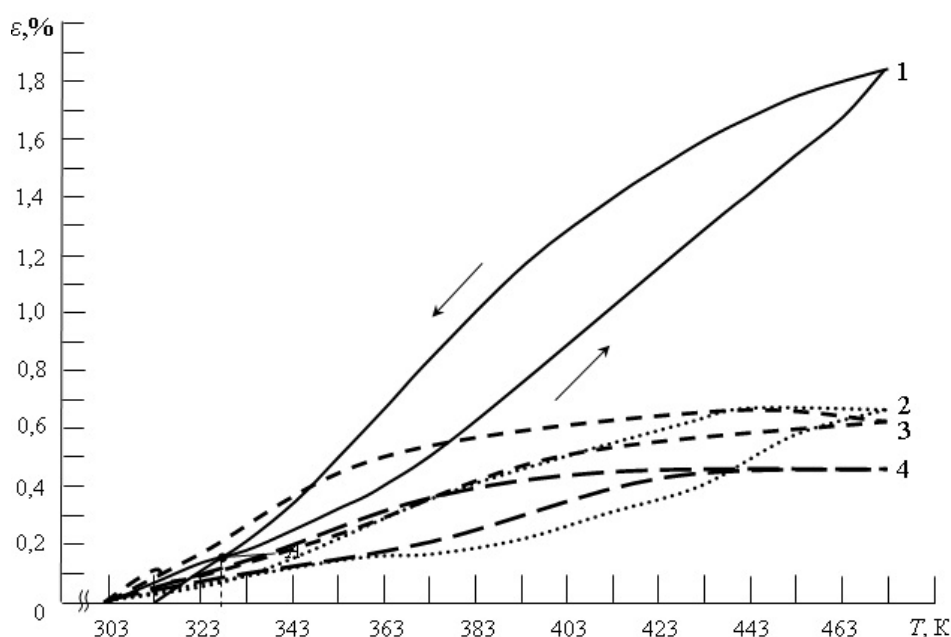


Рисунок 2 – Дилатометричні криві КМ за різного вмісту двокомпонентного бідисперсного наповнювача ( $q_1 + q_2$ ), мас.ч.:

1 – матриця (контрольний зразок); 2 – КМ 1: ВШ (10) + ЗС (40); 3 – КМ 2: ВШ (20) + ЗС (30); 4 – КМ 3: ВШ (30) + ЗС (20)

Таблиця 3 – Теплофізичні властивості КМ

| № | Характеристики                                | Вміст основного і додаткового наповнювачів ( $q_1 + q_2$ ), мас.ч. |                     |                     |                     |
|---|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|   |                                               | Матриця                                                            | ВШ (20)+<br>ЗС (30) | ВШ (10)+<br>ЗС (40) | ВШ (30)+<br>ЗС (20) |
| 1 | Теплостійкість, $T$ , К                       | 341                                                                | 347                 | 352                 | 350                 |
| 2 | Температура склування, $T_c$ , К              | 327                                                                | 323                 | 333                 | 315                 |
| 3 | Усадка, $\Delta V \times 10^{-9} \text{ м}^3$ | 0,32                                                               | 0,47                | 0,39                | 0,49                |

Важливим етапом дослідження теплофізичних властивостей є визначення ТКЛР епоксикомпозитів (табл. 4). На основі дилатометричних кривих, які графічно ілюструють залежність величини відносного видовження КМ від температури (рис. 2), обчислювали ТКЛР епоксикомпозитів у вибраних діапазонах температур (табл. 4). Експериментально

доведено зростання ТКЛР КМ під впливом теплового поля, однак інтенсивність збільшення ТКЛР з підвищенням температури зменшується.

Таблиця 4 – Термічний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) КМ за різних температурних діапазонів випробувань

| № | Вміст наповнювача,<br>q, мас.ч. |                    | Термічний коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \times 10^{-5}$ ,<br>K <sup>-1</sup> |           |           |           |
|---|---------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | Основний<br>(ВШ)                | Додатковий<br>(ЗС) | Температурні діапазони випробування, $\Delta T$ , K                                     |           |           |           |
|   |                                 |                    | 303...323                                                                               | 303...373 | 303...423 | 303...473 |
| 1 | Матриця                         |                    | 6,3                                                                                     | 6,8       | 9,9       | 10,9      |
| 2 | 20                              | 30                 | 3,0                                                                                     | 2,9       | 4,3       | 5,3       |
| 3 | 10                              | 40                 | 3,0                                                                                     | 2,7       | 3,7       | 5,2       |
| 4 | 30                              | 20                 | 3,7                                                                                     | 2,8       | 3,8       | 5,8       |

Отримані результати узгоджуються з результатами випробувань фізико-механічних властивостей КМ (руйнівні напруження при згинанні, модуль пружності при згинанні, ударна в'язкість), що дозволяє рекомендувати розроблені матеріали у вигляді захисних покриттів для експлуатації при підвищених температурах.

**Висновки.** На основі результатів проведених досліджень можна констатувати наступне: методом термогравіметричного та диференційно-термічного аналізу встановлено, що композити при нагріванні в діапазоні температур  $\Delta T = 576...730$  K втрачають масу в межах  $\varepsilon_m = 33...56$  %. Максимальне, серед досліджуваних композитів, значення температури піка екзофекту  $T_{max} = 525$  K і його найбільше зміщення в область високих температур стосовно матриці (на  $\Delta T = 11$  K) встановлено для композиту із вмістом часток вугільного шлаку (10 мас.ч.) та залізного сурику (40 мас.ч.). Це свідчить не лише про поліпшені когезійні властивості, але й про їх термостабільність в умовах впливу теплового поля.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сапронов О. О. Оптимізація складу захисного покриття методом математичного планування експерименту / О. О. Сапронов // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград : КНТУ. – 2013. – № 43. – Ч. II. – С. 260-267.
2. Букетов А. В. Математическое планирование эксперимента для создания эпоксикомпозитов с улучшенными свойствами / А. В. Букетов, Н. В. Браило, В. Л. Алексенко, А. А. Сапронов // Теоретические и прикладные проблемы математики, механики и информатики : Материалы междунар. науч. конф. (12-14 июня 2014 г., Караганда (Казахстан)). – Караганда : Изд-во КарГУ, 2014. – С. 121-122.
3. Яковлева Р. А. Влияние добавок на процессы термоокислительной деструкции наполненных эпоксиполимеров / Р. А. Яковлева, А. Н. Григоренко, А. М. Безуглый // Вісник КНУТД. – 2005. – Вип. 5 (25). Т.2. – С. 192-196.

## REFERENCES

1. Saponov O. O. Optyimizatsiia skladu zakhysnoho pokryttia metodom matematychnoho planuvannia eksperymentu / O. O. Saponov // Zahalnodержavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn. – Kirovohrad : KNTU. – 2013. – # 43. – Ch. II. – S. 260-267.
2. Buketov A. V. Matematicheskoe planirovanie ehksperimenta dlya sozdaniya ehpoksikompozitov s uluchshennymi svoystvami / A. V. Buketov, N. V. Brailo, V. L. Aleksenko, A. A. Saponov // Teoreticheskie i prikladnihe problemih matematiki, mekhaniki i informatiki : Materialih mezhdunar. nauch. konf. (12-14 iyunya 2014 g., Karaganda (Kazakhstan)). – Karaganda : Izd-vo KarGU, 2014. – S. 121-122.

3. Yakovleva R. A. Vliyanie dobavok na processih termookislitel'noy destrukcii napolnennikh ehпоксиполимеров / R. A. Yakovleva, A. N. Grigorenko, A. M. Bezuglihyj // Visnik KNUTD. – 2005. – Vip. 5 (25). T.2. – S. 192-196.

**Браїло Н.В., Бень А.П., Скирденко В.О., Рудакова А.В., Акимов А.В., Белый Л.М.** ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИКОМПОЗИТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЭУ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ

*Проанализирована динамика теплофизических свойств композитных материалов при введении различных по природе и дисперсности частиц наполнителей. Методом термогравиметрического и дифференциально-термического анализа установлено, что материал с содержанием частиц ВШ (30 масс.ч) + ЖС (20 масс.ч) характеризуется высокой конечной температурой потери массы  $T = 730$  K и одновременно отличается максимальным температурным интервалом экзоефекта, который составляет  $\Delta T_1 = 477$  K.*

*Проанализировано, что наибольшее значение относительной потери массы характерно для эпоксидной матрицы и составляет  $\epsilon_m = 56,0$  %. При этом наименьшей потерей массы ( $\epsilon_m = 33,3$ %), максимальным значением температуры пика экзоефекта ( $T_{max} = 525$  K), максимальным значением температуры стеклования ( $T_c = 333$  K) и наименьшей усадкой ( $\Delta V = 0,39 \times 10^{-9}$  м<sup>3</sup>) характеризуется материал с содержанием частиц ВШ (10 масс.ч) + ЖС (40 масс.ч). На основе проведенного анализа установлено, что материал с содержанием двухкомпонентного бидисперсного наполнителя – ВШ (10 масс.ч) + ЖС (40 масс.ч) характеризуется высокими показателями термостойкости по сравнению с другими исследуемыми материалами.*

*Ключевые слова: эпоксидный композит, теплофизические свойства, наполнитель.*

**Brailo M.V., Ben A.P., Skirdenko V.O., Rudakova A.V., Akimov A.V., Bilyi L.M.** INVESTIGATION OF THERMAL PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES TO PROTECT THE OPERATION OF SHIPS UNDER EMS

*The dynamics of thermal properties of composite materials by the introduction of various nature and particulate fillers. By thermogravimetric and differential thermal analysis showed that the material containing particles of HS (30 mass.%) + LS (20 mass. %) is characterized by high-end mass loss temperature  $T = 730$  K and different at the same time the maximum temperature range exo effects which is  $\Delta T_1 = 477$  K.*

*It analyzed that the greatest value of the relative mass loss is typical for epoxy matrix and is  $\epsilon_m = 56,0$ %. At the same time the lowest weight loss ( $\epsilon_m = 33,3$ %), the maximum temperature exo effects peak ( $T_{max} = 525$  K), the maximum value of the glass transition temperature ( $T_c = 333$  K), and the lowest shrinkage ( $\Delta V = 0,39 \times 10^{-9}$  m<sup>3</sup>) is characterized by a material containing particles of HS (10 mass. %) + LS (40 mass. %). Based on the analysis found that the material content of the two-component filler bidisperse - HS (10 mass. %) + LS (40 mass. %) is characterized by high thermal stability as compared to other tested materials.*

*Keywords: epoxy composite, thermal properties, the filler.*

© Браїло М.В., Бень А.П., Скирденко В.О., Рудакова Г.В., Акімов О.В., Білий Л.М.

Статтю прийнято  
до редакції 8.06.15

## СИЛЫ ПРИТЯЖЕНИЯ В УНИВЕРСАЛЬНОМ ИНСТРУМЕНТЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ РИХТОВКИ

Гнатюк А.В.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*В последнее время все более высоким спросом пользуются операции по ремонту и восстановлению кузовных панелей автомобилей. Особый интерес представляют устройства, позволяющие провести, внешнюю рихтовку без разборки кузова автомобиля и нарушения существующего защитного покрытия. К таким инструментам относятся индукционные индукторные системы – универсальные инструменты внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки. Принцип действия данных индукторных систем основан на законе Ампера, по которому проводники с коллинеарными одинаково направленными токами притягиваются друг к другу. Одним из наиболее важных вопросов при выборе определенной конструкции таких индукторных систем, является исследование в них электродинамических процессов с определением возбуждаемых усилий. Их характер протекания в соответствии с конструктивными особенностями определяют эффективность и работоспособность индукционных индукторных систем, как универсального инструмента внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки. В работе проведен анализ электродинамических процессов в индукционной индукторной системе с идентичными ферромагнитными металлами обрабатываемой заготовки и вспомогательного экрана. Получены аналитические выражения для расчета сил притяжения Ампера и сил притяжения, обусловленных магнитными свойствами обрабатываемого металла. Полученные результаты проиллюстрированы численными оценками для реальных ситуаций в практике внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки.*

**Ключевые слова:** внешняя рихтовка, удаление вмятин, кузовной ремонт, магнитно-импульсная обработка металлов, кузовная панель.

**Постановка проблемы.** В настоящее время все большим спросом пользуются операции по реставрации кузовных панелей автомобилей. Причём, до 80% повреждений приходится на небольшие и средние повреждения. Половина из них – это вмятины, не требующие замены всего элемента и устраняемые рихтовкой. Более 50% таких повреждений составляют зоны с затрудненным или полностью закрытым обратным доступом. В этой связи особый интерес представляют устройства, позволяющие произвести, внешнюю рихтовку без разборки кузова автомобиля и нарушения существующего защитного покрытия [1, 2].

Особенный интерес представляют инструменты, позволяющие производить рихтовку кузовных панелей автомобилей выполненных, как из ферромагнитных, так и неферромагнитных металлов. К таким инструментам относятся индукционные индукторные системы (ИИС) – универсальные инструменты внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки [3, 4].

**Анализ основных достижений и публикаций.** В основу принципа действия ИИС положен закон Ампера, по которому проводники с коллинеарными одинаково направленными токами притягиваются друг к другу [5–8]. В отличие от индукторных систем, основанных на естественном притяжении ферромагнетиков при понижении рабочих частот действующих полей, ИИС представляют собой техническое решение. Здесь, помимо собственно индуктора-источника магнитного поля и листовой заготовки – кузовная панель автомобиля, вводится дополнительный конструктивный элемент. Это, так называемый, дополнительный или вспомогательный экран. Он располагается параллельно и симметрично относительно плоскости индуктора обрабатываемому листовому металлу [3, 4, 9, 10]. Если экран и заготовка идентичны, то в них возбуждаются одинаковые токи (речь идёт о величине, временной зависимости и направлении). Их взаимодействие приводит к взаимному притяжению. Но экран жёстко фиксируется. Поэтому деформируется лишь листовая заготовка. Её участок в области внутреннего окна будет притягиваться к индуктору [11–14].

Одним из наиболее важных вопросов при выборе определенной конструкции ИИС, является исследование в ней электродинамических процессов с определением возбуждаемых усилий. Т.к. их характер и протекание, в соответствии с конструктивными особенностями определяют эффективность и работоспособность ИИС, как универсального инструмента внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки автомобильных кузовов [15, 16].

**Цель работы** – расчет электродинамических процессов в индукционной индукторной системе с идентичными ферромагнитными металлами кузовной панели и вспомогательного экрана – универсальном инструменте магнитно-импульсной рихтовки автомобильных кузовов.

**Расчетные соотношения.** Расчётную модель универсального инструмента магнитно-импульсной рихтовки автомобильных кузовов представлена на рис. 1 [11, 15–17].

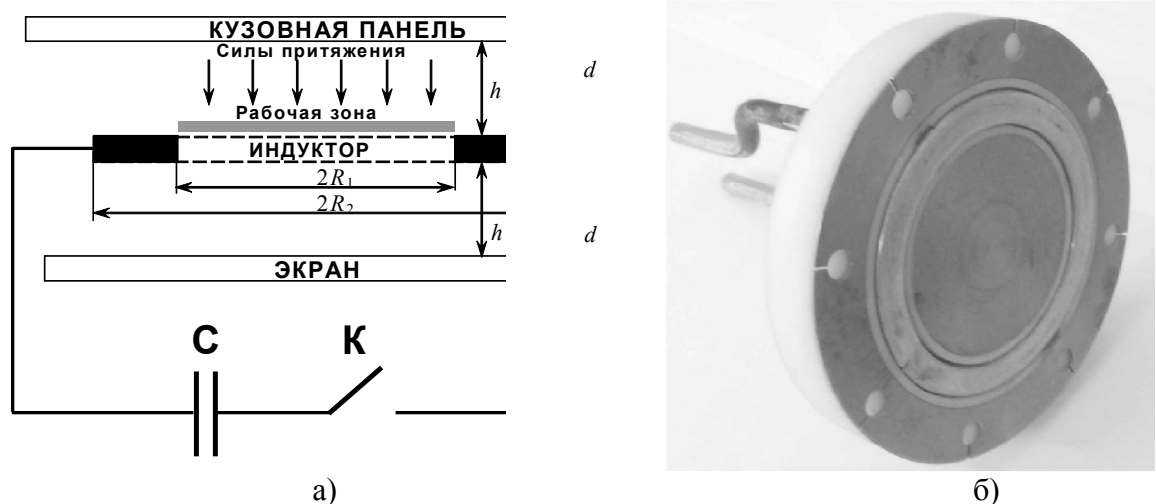


Рисунок 1 – Универсальный инструмент магнитно-импульсной рихтовки:  
а – расчётная модель, б – физическая реализация

Не останавливаясь на математических операциях по решению уравнений Максвелла, составленных для возбуждаемых составляющих вектора электромагнитного поля ( $E_\varphi \neq 0$ ,  $H_{r,z} \neq 0$ ), перепишем из авторской работы [15, 17] полученные аналитические выражения для нормальной и тангенциальной компоненты напряженности магнитного поля:

$$H_r^{(2)}(\varphi, r, \zeta) = \frac{j(\varphi)}{2\mu_r} \int_0^\infty \frac{F(x) J_1\left(x \frac{r}{d}\right)}{x} \cdot \frac{\left( ch\left(x \cdot \frac{\zeta-d}{d}\right) - \frac{1}{\mu_r} \cdot sh\left(x \cdot \frac{\zeta-d}{d}\right) \right)}{sh(x) \left[ sh\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) + \frac{1}{\mu_r^2} ch\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) \right] + \frac{1}{\mu_r} \cdot e^{x \frac{h}{d}} \cdot ch(x)} \cdot dx \quad (1)$$

$$H_z^{(2)}(\varphi, r, \zeta) = \frac{j(\varphi)}{2\mu_r} \int_0^\infty \frac{F(x) J_0\left(x \frac{r}{d}\right)}{x} \cdot \frac{\left( sh\left(x \cdot \frac{\zeta-d}{d}\right) - \frac{1}{\mu_r} \cdot ch\left(x \cdot \frac{\zeta-d}{d}\right) \right)}{sh(x) \left[ sh\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) + \frac{1}{\mu_r^2} ch\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) \right] + \frac{1}{\mu_r} \cdot e^{x \frac{h}{d}} \cdot ch(x)} \cdot dx, \quad (2)$$

где  $j(\varphi)$  – фазовая зависимость тока в индукторе,  $x = \lambda \cdot d$  – безразмерная переменная интегрирования  $x \in [0, \infty)$ ,  $J_1\left(x \frac{r}{d}\right)$  – функция Бесселя первого порядка,

$$F(x) = \int_{\left(x \cdot \frac{R_1}{d}\right)}^{\left(x \cdot \frac{R_2}{d}\right)} y \cdot J_1(y) dy - \text{функция равномерного радиального распределения тока}$$

в индукторе,  $y$  – переменная интегрирования.

Силы притяжения в рассматриваемом универсальном инструменте магнитно-импульсной рихтовки – это сила притяжения кузовной панели автомобиля, обусловленная действием вспомогательного экрана (взаимное притяжение проводников с индуцированными токами) и сила притяжения, обусловленная магнитными свойствами металла собственно кузовной панели.

Силы притяжения листовых металлов с индуцированными токами в соответствии с законом Ампера описываются зависимостью [4, 16]:

$$F_A(t, r) = \frac{\mu_0}{2} \cdot J_\varphi^2(t, r) \cdot \frac{r}{h}. \quad (3)$$

С помощью аналитических выражений, найденных в [15], приведём зависимость (3) к виду, удобному для вычислений.

После необходимых преобразований записываем, что

$$F_A(\varphi, r) = F_{Am}(\varphi) \cdot \left( \int_0^\infty \Phi_3(x) \cdot J_1\left(x \frac{r}{d}\right) \cdot dx \right)^2, \quad (4)$$

$$\text{где } F_{Am}(\varphi) = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{r}{h} \left( j_m \cdot \frac{dj(\varphi)}{d\varphi} \cdot \frac{(\omega \cdot \tau)}{2} \right)^2, \quad \Phi_3(x) = \frac{F(x) \cdot \left( (1 - ch(x)) - \frac{1}{\mu_r} \cdot sh(x) \right)}{x^3 \left( sh(x) \cdot \left[ sh\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) + \frac{1}{\mu_r^2} ch\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) \right] + \frac{1}{\mu_r} \cdot e^{x \frac{h}{d}} \cdot ch(x) \right)}.$$

Сила притяжения, обусловленная магнитными свойствами металла кузовной панели, описывается зависимостью [4]:

$$F_M(\varphi, r) = -\frac{\mu_0}{2} (\mu_r - 1) \left( \mu_r \left[ H_z^2(\zeta = 0) - H_z^2(\zeta = d) \right] + \left[ H_r^2(\zeta = 0) - H_r^2(\zeta = d) \right] \right), \quad (5)$$

где  $H_{z,r}(\zeta = 0), H_{z,r}(\zeta = d)$  –  $\{z \text{ и } r\}$  – компоненты напряжённости магнитного поля на граничных поверхностях обрабатываемого листа.

С помощью соотношений (1) и (2) приведём зависимость (5) к виду, удобному для проведения вычислений:

$$F_M(\varphi, r) = -F_{Mm}(\varphi) \cdot (\mu_r [Y_1(r) - Y_2(r)] + [Y_3(r) - Y_4(r)]), \quad (6)$$

$$\text{где } F_{Mm}(\varphi) = \frac{\mu_0}{2} \cdot \left(1 - \frac{1}{\mu_r}\right) \cdot j_m^2 \cdot j^2(\varphi),$$

$$Y_1(r) = \left( \int_0^\infty \frac{F(x) \cdot \left( sh(x) + \frac{1}{\mu_r} \cdot ch(x) \right) \cdot J_0\left(x \cdot \frac{r}{d}\right)}{x \left( sh(x) \cdot \left[ sh\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) + \frac{1}{\mu_r^2} ch\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) \right] + \frac{1}{\mu_r} \cdot e^{x \frac{h}{d}} \cdot ch(x) \right)} dx \right)^2,$$

$$Y_3(r) = \left[ \int_0^{\infty} \frac{F(x) \cdot \left( ch(x) + \frac{1}{\mu_r} \cdot sh(x) \right) \cdot J_1 \left( x \cdot \frac{r}{d} \right)}{x \left( sh(x) \cdot \left[ sh \left( x \cdot \frac{h}{d} \right) + \frac{1}{\mu_r^2} ch \left( x \cdot \frac{h}{d} \right) \right] + \frac{1}{\mu_r} \cdot e^{\frac{xh}{d}} \cdot ch(x)} \right) dx} \right]^2$$

$$Y_4(r) = \left[ \int_0^{\infty} \frac{F(x) \cdot J_1 \left( x \cdot \frac{r}{d} \right)}{x \left( sh(x) \cdot \left[ sh \left( x \cdot \frac{h}{d} \right) + \frac{1}{\mu_r^2} ch \left( x \cdot \frac{h}{d} \right) \right] + \frac{1}{\mu_r} \cdot e^{\frac{xh}{d}} \cdot ch(x)} \right) dx} \right]^2$$

**Численные оценки.** Как следует из физических соображений, в магнитных полях с напряжённостями, достаточными для ощутимого силового воздействия ( $\sim 10^5 \div 10^7$  А/м), относительная магнитная проницаемость должна стремиться к величине, близкой к единице. Справедливость такого предположения обоснована авторами работы [1, 3–8]. Для определённости примем, что  $\mu_r \approx 2,5$ .

Для выяснения роли и влияния магнитных свойств экрана и заготовки на силовые характеристики рассматриваемой системы, вначале проведём расчёты для тех же условий: что были приняты в вычислениях с немагнитной сталью [15 – 17]:  $R_1 = 0,025$  м,  $R_2 = 0,035$  м,  $h = 0,001$  м,  $f = 1150$  Гц,  $\delta = 0,2$ ,  $J_m = 50$  кА,  $d = 0,00075$  м,  $\gamma = 0,4 \cdot 10^7$  1/Ом·м.

Для вычисления нормальной и тангенциальной компонент сил Лоренца, воспользуемся аналитическими выражениями, полученными в работе [15, 17]

Результаты проведенных вычислений представлены на рис. 2–4.

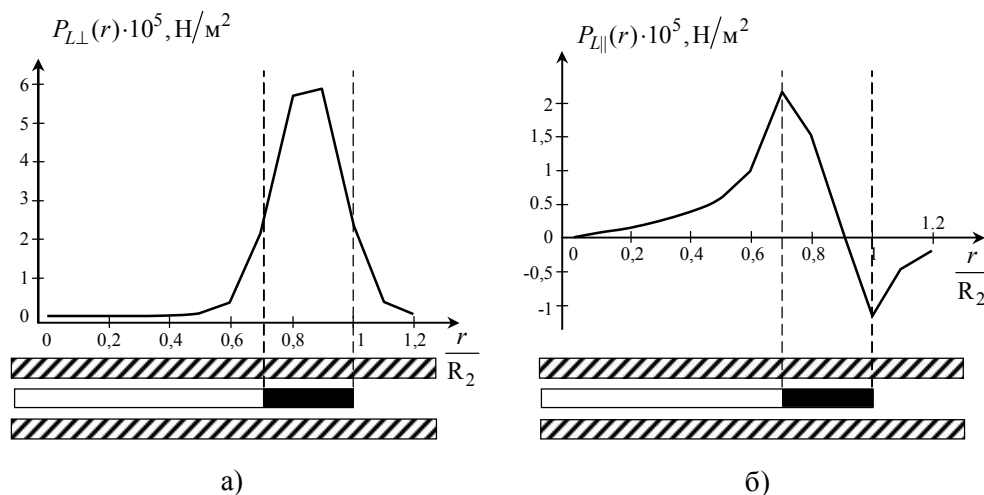


Рисунок 2 – Радиальные распределения временных амплитуд компонент сил Лоренца для магнитных металлов,  $\mu_r = 2,5$ , а) нормальная  $z$  – компонента, б) тангенциальная  $r$  – компонента

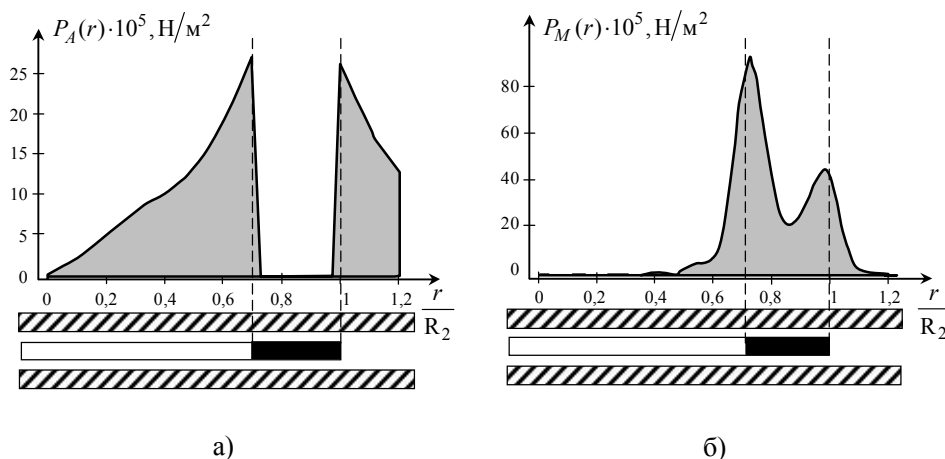


Рисунок 3 – Радиальные распределения временных амплитуд возбуждаемых сил притяжения для магнитных металлов,  $\mu_r = 2,5$ : а) сила притяжения Ампера, б) сила магнитного притяжения

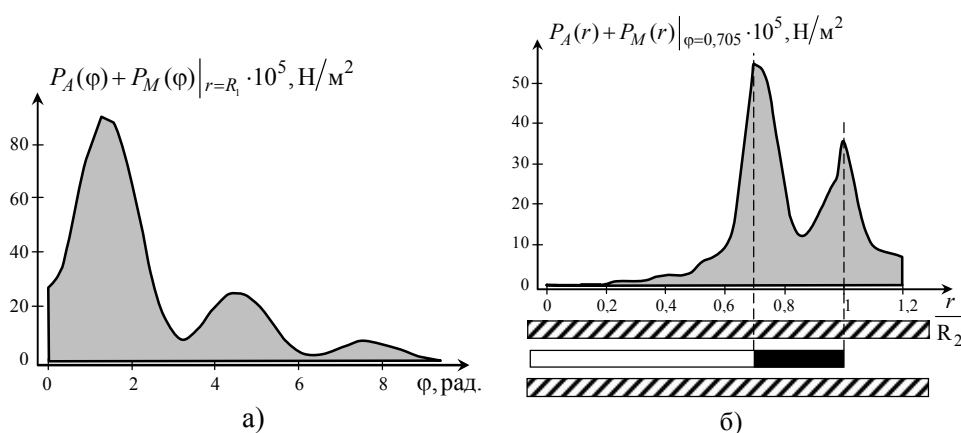


Рисунок 4 – Графические зависимости суммарной силы притяжения в системе с магнитными экраном и заготовкой,  $\mu_r = 2,5$ : а) фазовая зависимость для  $r = R_1$ ; б) радиальное распределение в момент  $\varphi = 0,705$  рад

Как было показано в работе [16] для немагнитных металлов, уменьшение ширины витка индуктора позволяет повысить силовые показатели рассматриваемой индукционной индукторной системы. Рассчитаем их в случае ферромагнитных экрана и кузовной панели для  $R_1 = 0,03$  м,  $R_2 = 0,035$  м.

Результаты вычислений приведены на рис. 5 и рис. 6.

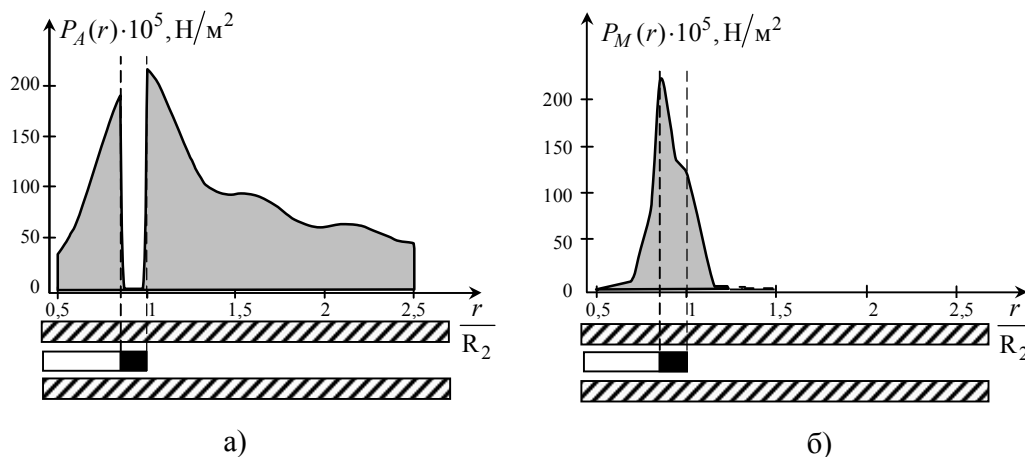


Рисунок 5 – Радиальные распределения временных амплитуд возбуждаемых сил притяжения для магнитных металлов ( $\mu_r = 2,5$ ) в случае тонкого витка ( $R_1 = 0,03$  м,  $R_2 = 0,035$  м): а) сила притяжения Ампера, б) сила магнитного притяжения

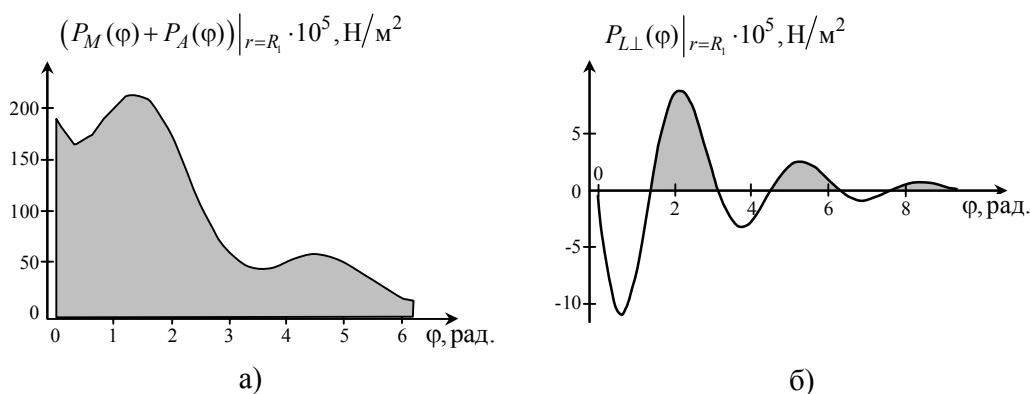


Рисунок 6 – Фазовые распределения возбуждаемых сил притяжения для магнитных металлов ( $\mu_r = 2,5$ ) в случае тонкого витка ( $R_1 = 0,03$  м,  $R_2 = 0,035$  м): а) суммарная сила притяжения, б) сила Лоренца (вычисления для  $r = R_1$ )

Для иллюстративности помимо амплитудных значений следует привести усредненные силовые показатели. При расчёте последних, в качестве границ интервалов усреднения, примем значения радиальных координат, в пределах которых сосредоточены возбуждаемые силы. Подчеркнём, что оценка границ производится чисто визуально из графиков соответствующих распределений.

Так, среднее значение силы притяжения Ампера на интервале  $\frac{r}{R_2} \in [0,5, 2,5]$  соответственно рис. 5а составляет  $78 \text{ кГ/см}^2$ .

Усреднение силы магнитного притяжения на интервале  $\frac{r}{R_2} \in [0,5, 1,2]$  согласно рис. 5б даёт в результате  $98 \text{ кГ/см}^2$ .

Среднее значение суммарной силы притяжения (сила Ампера плюс сила магнитного притяжения) за время её действия составляет  $110 \text{ кГ/см}^2$ .

Основные результаты проведенных вычислений сводятся к следующим положениям.

1. Влияние магнитных свойств экрана и металла кузовной панели проявляется в появлении мощных сил магнитного притяжения.

2. Даже при незначительном увеличении магнитной проницаемости металла экрана и кузовной панели автомобиля существенно растёт амплитуда сил Лоренца. Влиянием последней нельзя пренебрегать, её действие может исказить картину деформирования кузовной панели в области витка индуктора.

3. Все возбуждаемые силы имеют различные фазовые зависимости, вследствие чего их максимумы разнесены во времени, и суммарное действие возбуждаемых сил не определяется простым суммированием амплитудных значений.

4. Суперпозиция сил притяжения Ампера и сил магнитного притяжения в радиальных распределениях нивелирует провал силового действия на кузовную панель в области витка индуктора.

5. В целом, притяжение ферромагнетика в рассматриваемом универсальном инструменте оказывается существенно эффективнее, чем немагнитного металла, оценки для которого были проведены в работе [16]. Током индуктора с временной зависимостью в виде экспоненциально затухающей синусоиды с амплитудой  $37 \text{ кА}$  возбуждаются силы притяжения порядка  $35 \dots 80 \text{ кГ/см}^2$ .

### Выводы

1. Проведен расчет и анализ электродинамических процессов в индукционной индукторной системе с идентичными ферромагнитными металлами кузовной панели и вспомогательного экрана – универсальном инструменте магнитно-импульсной рихтовки

автомобильных кузовов.

2. Получены аналитические выражения для вычисления сил притяжения Ампера и сил притяжения, обусловленных магнитными свойствами металла кузовной панели автомобиля.

3. Построены графические зависимости для возбуждаемых сил притяжения (усилия рихтовки) в рассматриваемом универсальном инструменте магнитно-импульсной рихтовки автомобильных кузовов.

4. Определено, что среднее значение силы притяжения Ампера составляет  $78 \text{ кГ/см}^2$ , а силы притяжения, обусловленной магнитными свойствами металла кузовной панели автомобиля –  $98 \text{ кГ/см}^2$ .

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнатов А. В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Магнитно-импульсные технологии бесконтактной рихтовки кузовных элементов автомобиля : монографія / А. В. Гнатов, Ю. В. Батыгин, Е. А. Чаплыгин. – Lap Lambert Academic Publishing, 2012 – 242 с.

2. Welcome to BETAG Innovation // Матеріали сайту – 2012. – Режим доступу : [www.beulentechnik.com](http://www.beulentechnik.com).

3. Туренко А. Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями : монографія / А. Н. Туренко, Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов. – Харків : ХНАДУ, 2009 – 240 с.

4. Гнатов А. В. Анализ электродинамических процессов в цилиндрических индукторных системах – инструментах магнитно-импульсной рихтовки : монографія / А. В. Гнатов. – Харків : ХНАДУ, 2013 – 292 с.

5. Чаплыгин Е. А. Разработка цилиндрических индукционных индукторных систем для магнитно-импульсного притяжения тонких металлических листов: дисс. ... кандидата техн. наук : 05.09.13 / Чаплыгин Евгений Александрович. – Харьков, 2009. – 169 с.

6. Батыгин Ю. В. Эксперименты с индукционными индукторными системами для магнитно-импульсного притяжения листовых металлов / Ю. В. Батыгин, Е. А. Чаплыгин, Т. Т. Черногор // Електротехніка і електромеханіка. – Харків, 2008. – № 6. – С. 64-67.

7. Батыгин Ю. В. Электродинамические процессы в цилиндрической индукционной индукторной системе для магнитно – импульсного притяжения листовых заготовок / Ю. В. Батыгин, А. Ю. Бондаренко, Е. А. Чаплыгин // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2007. – № 11/47. – С. 109-117.

8. Батыгин Ю. В. Электродинамические процессы в индукционной индукторной системе с прямоугольной формой рабочей зоны / Ю. В. Батыгин, А. Ю. Бондаренко, Г. С. Сериков // Авиационно-космическая техника и технология, 2008. – № 2 (49). – С. 45-50.

9. Пат. 70055 України, В21 Д 26/14. Спосіб магнітно-імпульсної притягання металевих об'єктів одновитковою індукторною системою з тонким екраном / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Чаплигін Є. О., Аргун І. В., Гопко А. В., Дробінін О. М.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u 2011 13398 заявл. 14.11.2011; опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10.

10. Пат. 70734 України, В21 Д 26/14. Спосіб магнітно-імпульсного притягання металевих об'єктів двовитковою круговою індукторною системою з тонким екраном / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Чаплигін Є. О., Гопко А. В., Щиголева С. О., Дробінін О. М.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u2011 14018 заявл. 28.11.2011; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.

11. Электромагнитные процессы в симметричных индукционных системах с идентичными ферромагнитными тонкостенными экраном и листовой заготовкой /

Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун [и др.] // Электротехника і електромеханіка. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 4 – С. 50-53.

12. Пат. 74736 України, В21 Д 26/14. Спосіб магнітно-імпульсного притягання металевих об'єктів заготовок одновитковим прямокутним індуктором, що складається з двох паралельних гілок та розташований над допоміжним екраном / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Щиголева С. О., Чаплигін Є. О., Гопко А. В., Дробінін О. М.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u2012 04717 заявл. 17.04.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21.

13. Пат. 76606 України, В21 Д 26/14. Спосіб магнітно-імпульсного притягання металевих об'єктів одновитковим циліндричним індуктором, розділеним на дві гілки / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Чаплигін Є. О. ; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u2012 07547 заявл. 20.06.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.

14. Пат. 77579 України, В21 Д 26/14. Спосіб магнітно-імпульсного притягання металевих заготовок одновитковим круговим індуктором, розташованим над допоміжним екраном / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Чаплигін Є. О., Трунова І С., Гопко А. В., Сабокар О. С. ; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u 2012 07542 заявл. 22.06.2012; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4.

15. Батыгин Ю. В. Силы Лоренца в индукционной индукторной системе техники МИОМ / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, С. А. Шиндерук // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова». – Белгород, 2014. – № 2. – С. 170–175.

16. Батыгин Ю. В. Расчет электродинамических процессов в индукционной индукторной системе с немагнитными металлами / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, С. А. Шиндерук // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова». – Белгород.– 2014. – № 3. – С. 169–174.

17. Гнатов А.В. Научные основы восстановления кузовных панелей автомобилей методами внешней бесконтактной рихтовки: дисс. ... доктора техн. наук : 05.22.20 / Гнатов Андрей Викторович. – Харьков, 2014. – 391 с.

## REFERENCES

1. Gnatov A. V. Impuljsnihe magnitnihe polya dlya progressivnihkh tekhnologiyj. Magnitno-impuljsnihe tekhnologii beskontaktnoy rikhtovki kuzovnihkh ehlementov avtomobilya : monografiya / A. V. Gnatov, Yu. V. Batihgin, E. A. Chaplihgin. – Lap Lambert Academic Publishing, 2012 – 242 s.

2. Welcome to BETAG Innovation // Materiali sayjtu – 2012. – Rezhim dostupu : [www.beulentechnik.com](http://www.beulentechnik.com).

3. Turenko A. N. Impuljsnihe magnitnihe polya dlya progressivnihkh tekhnologiyj. Tom 3. Teoriya i ehksperiment prityazheniya tonkostennihkh metallov impuljsnihmi magnitnihmi polyami : monografiya / A. N. Turenko, Yu. V. Batihgin, A. V. Gnatov. – Kharkiv : KhNADU, 2009 – 240 s.

4. Gnatov A. V. Analiz ehlektrodinamicheskikh processov v cilindricheskikh induktornihkh sistemakh – instrumentakh magnitno-impuljsnoy rikhtovki : monografiya / A. V. Gnatov. – Kharkiv : KhNADU, 2013 – 292 s.

5. Chaplihgin E. A. Razrabotka cilindricheskikh indukcionnihkh induktornihkh sistem dlya magnitno-impuljsnogo prityazheniya tonkikh metallicheskih listov: diss. ... kandidata tekhn. nauk : 05.09.13 / Chaplihgin Evgeniy Aleksandrovich. – Kharjkov, 2009. – 169 s.

6. Batihgin Yu. V. Ehksperimentih s indukcionnihmi induktornihmi sistemami dlya magnitno-impuljsnogo prityazheniya listovihkh metallov / Yu. V. Batihgin, E. A. Chaplihgin, T. T. Chernogor // Elektrotehnika i elektromekhanika. – Kharkiv, 2008. – № 6. – S. 64-67.

7. Batihgin Yu. V. Ehlektrodinamicheskie processih v cilindricheskoyj indukcionnoy induktornoyj sisteme dlya magnitno – impuljsnogo prityazheniya listovihkh zagotovok / Yu. V. Batihgin, A. Yu. Bondarenko, E. A. Chaplihgin // Aviaciyjno-kosmichna tekhnika i tekhnologiya. – 2007. – № 11/47. – S. 109-117.

8. Batihgin Yu. V. Ehlektrodinamicheskie processih v indukcionnoy indukturnoy sisteme s pryamougol'noy formoy rabochey zonih / Yu. V. Batihgin, A. Yu. Bondarenko, G. S. Serikov // Aviaciono-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya, 2008. – № 2 (49). – S. 45-50.

9. Pat. 70055 Ukraïni, V21 D 26/14. Sposib magnitno-impul'snoi prityagannya metalevikh ob'ektiv odnovitkovoyu indukturnoyu sistemoyu z tonkim ekranom / Batigin Yu. V., Gnatov A. V., Chaplugin Є. O., Argun Th. V., Gopko A. V., Drobinin O. M; zayavnik ta patentovlasnik Kharkivskiy nac. avtom.-dorozhn. un-t. – № u 2011 13398 zayavl. 14.11.2011; opubl. 25.05.2012, Byul. № 10.

10. Pat. 70734 Ukraïni, V21 D 26/14. Sposib magnitno-impul'snogo prityagannya metalevikh ob'ektiv dvovitkovoyu krugovoyu indukturnoyu sistemoyu z tonkim ekranom / Batigin Yu. V., Gnatov A. V., Chaplugin Є. O., Gopko A. V., Thigoleva S. O., Drobinin O. M; zayavnik ta patentovlasnik Kharkivskiy nac. avtom.-dorozhn. un-t. – № u2011 14018 zayavl. 28.11.2011; opubl. 25.06.2012, Byul. № 12.

11. Ehlektromagnitnihe processih v simmetrichnikh indukcionnikh sistemakh s identichnihmi ferromagnitnihmi tonkostennimi ehkranom i listovoy zagotovkoy / Yu. V. Batihgin, A. V. Gnatov, Th. V. Argun [i dr.] // Elektrotehnika i elektromekhanika. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2012. – № 4 – S. 50-53.

12. Pat. 74736 Ukraïni, V21 D 26/14. Sposib magnitno-impul'snogo prityagannya metalevikh ob'ektiv zagotivok odnovitkovim pryamokutnim induktorom, tho skladaetsya z dvokh paralelnikh gilok ta roztashovaniy nad dopomizhnim ekranom / Batigin Yu. V., Gnatov A. V., Thigoleva S. O., Chaplugin Є. O., Gopko A.V., Drobinin O. M.; zayavnik ta patentovlasnik Kharkivskiy nac. avtom.-dorozhn. un-t. – № u2012 04717 zayavl. 17.04.2012; opubl. 12.11.2012, Byul. № 21.

13. Pat. 76606 Ukraïni, V21 D 26/14. Sposib magnitno-impul'snogo prityagannya metalevikh ob'ektiv odnovitkovim cilindrichnim induktorom, rozdilenim na dvi gilki / Batigin Yu. V., Gnatov A. V., Chaplugin Є. O. ; zayavnik ta patentovlasnik Kharkivskiy nac. avtom.-dorozhn. un-t. – № u2012 07547 zayavl. 20.06.2012; opubl. 10.01.2013, Byul. № 1.

14. Pat. 77579 Ukraïni, V21 D 26/14. Sposib magnitno-impul'snogo prityagannya metalevikh zagotivok odnovitkovim krugovim induktorom, roztashovanim nad dopomizhnim ekranom / Batigin Yu. V., Gnatov A. V., Chaplugin Є. O., Trunova I S., Gopko A. V., Sabokar O. S. ; zayavnik ta patentovlasnik Kharkivskiy nac. avtom.-dorozhn. un-t. – № u 2012 07542 zayavl. 22.06.2012; opubl. 25.02.2013, Byul. № 4.

15. Batihgin Yu. V. Silih Lorenci v indukcionnoy indukturnoy sisteme tekhniki MIOM / Yu. V. Batihgin, A. V. Gnatov, S. A. Shinderuk // Nauchno-teoreticheskij zhurnal «Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova». – Belgorod, 2014. – № 2. – S. 170–175.

16. Batihgin Yu. V. Raschet ehlektrodinamicheskikh processov v indukcionnoy indukturnoy sisteme s nemagnitnimi metallami / Yu. V. Batihgin, A. V. Gnatov, S. A. Shinderuk // Nauchno-teoreticheskij zhurnal «Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova». – Belgorod. – 2014. – № 3. – S. 169–174.

17. Gnatov A.V. Nauchnihe osnovih vosstanovleniya kuzovnikh paneley avtomobiley metodami vneshney beskontaktnoy rikhtovki: diss. ... doktora tekhn. nauk : 05.22.20 / Gnatov Andrey Viktorovich. – Khar'kov, 2014. – 391 s.

#### **Гнатів А.В. СИЛИ ПРИТЯГАННЯ В УНІВЕРСАЛЬНОМУ ІНСТРУМЕНТІ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОГО РИХТУВАННЯ**

*Останнім часом, все більш високим попитом користуються операції по ремонту та відновленню кузовних панелей автомобілів. Особливий інтерес представляють пристрої, що дозволяють здійснити зовнішнє рихтування без розбирання кузова автомобіля і порушення існуючого захисного покриття. До таких інструментів відносяться індукційні індукторні системи – універсальні інструменти зовнішньої безконтактної магнітно-імпульсної рихтування. Принцип дії даних індукторних систем заснований на законі Ампера, за яким провідники з колінеарними однаково спрямованими струмами притягуються один до одного. Одним з найбільш важливих питань при*

виборі певної конструкції таких індукторних систем є дослідження в них електродинамічних процесів з визначенням збуджуваних зусиль. Їх характер протікання відповідно до конструктивних особливостей визначає ефективність і працездатність індукційних індукторних систем, як універсального інструменту зовнішньої безконтактної магнітно-імпульсної рихтування. У роботі проведено аналіз електродинамічних процесів в індукційній індукторній системі з ідентичними ферромагнітними металами оброблюваної заготовки і допоміжного екрана. Отримано аналітичні вирази для розрахунку сил притягання Ампера і сил притягання, обумовлених магнітними властивостями оброблюваного металу. Отримані результати проілюстровані чисельними оцінками для реальних ситуацій в практиці зовнішньої безконтактної магнітно-імпульсної рихтування.

**Ключові слова:** зовнішнє рихтування, видалення вм'ятин, кузовний ремонт, магнітно-імпульсна обробка металів, кузовна панель.

**Hnatov A.V. ATTRACTIVE FORCES IN THE UNIVERSAL TOOL MAGNETIC PULSE STRAIGHTENING**

*Recently, more and more high-demand operations to repair and restore the body panels of cars. Of particular interest are devices to hold, without disassembling the external alignment of the car body and the violation of the existing protective coating. Such tools include induction inductor system - the universal tool of external contactless magnetic pulse alignment. The operating principle of these systems is based on the inductor Ampere's law, according to which the conductors with collinear currents in the same direction attract each other. One of the most important issues when choosing a particular design inductor such systems is the study of electrodynamic processes in them with the determination of excited effort. Their character of course in accordance with the structural features determine the effectiveness and efficiency of induction inductor systems as a universal instrument of foreign non-contact magnetic pulse alignment. The analysis of electrodynamic processes in the induction inductor system with identical ferromagnetic metal workpiece and the sub screen. The analytical expressions for the calculation of the forces of attraction and Ampère forces of attraction due to the magnetic properties of the treated metal. The results obtained are illustrated by numerical estimates for the real situations in the practice of external contactless magnetic pulse alignment.*

**Keywords:** external straightening, removing dents, body repair, magnetic-pulse metal working, car body panels.

© Гнатов А.В.

Статтю прийнято  
до редакції 19.11.15

## ВИБРАЦИЯ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ МАЧТЫ

Гусев В.Н., Селиванов С.Е.

Херсонская государственная морская академия

*В работе рассматривается теоретическая задача – вынужденные поперечные колебания мачты (стержня), которая совершает малые гармонические колебания (вибрации) с какой-то амплитудой в направлении, перпендикулярном его оси, при этом возникает стационарное звуковое поле. Обычно под термином стержень в акустике называют материальную массу удлиненной цилиндрической формы. Если стержень совершает вынужденные колебания, т.е. работает на изгиб, то искомой функцией является ордината  $y(x,t)$  деформированной оси стержня с абсциссой  $x$  и в момент времени  $t$ . Для решения задачи считаем, что один конец стержня закреплен, тогда краевыми условиями будут являться неподвижность стержня и вертикальность касательной. Предварительно находим собственные значения и функции уравнения свободных колебаний стержня для двух переменных  $x$  и  $t$ . Физическая задача о колебаниях стержня сводится к математической задаче: найти решение уравнения, которое удовлетворяло бы начальным условиям и граничным условиям. Проведя ряд математических действий, в итоге получили формулу амплитуды вынужденных поперечных колебаний мачты (в виде кругового цилиндра) под действием гармонической силы частоты  $\omega$ . В заключении в среде Mathcad 15 вычислялись зависимости от времени отклонений  $y(x,t)$  для трех различных сечений стальной мачты и при трех различных частотах.*

**Ключевые слова:** теоретическая задача, вибрация, мачта, звуковое поле, изгиб, стержень, свободные колебания, амплитуда.

**Введение.** Мачты на судне подвержены вибрацией, т.е. упругим механическим колебаниям под воздействием сил.

Вибрация, вызываемая такими силами, называется вынужденной и продолжается до тех пор, пока действует сила. Вибрация, вызванная внезапно приложенной и быстро исчезнувшей силой и продолжающаяся некоторое время после прекращения действия силы, называется свободной.

Если мачта совершает гармонические колебания (вибрации) например, с амплитудой в направлении перпендикулярном его оси, то при этом в части пространства распространяются звуковые волны. Часть пространства, в котором распространяются звуковые волны, называют звуковым полем.

Распространяющееся звуковое поле от вибрации мачты оказывает влияние на общий шум на судне и соответственно на экипаж.

**Актуальность.** В Конвенции о труде в морском судоходстве указано, что на постоянной основе должны проводиться исследования по проблеме вибрации на борту судов, с целью улучшения защиты моряков от неблагоприятных последствий воздействия вибрации, и приниматься меры для уменьшения вибрации на борту судов [1], тоже подчеркнуто в Кодексе безопасной практики работы для моряков торговых судов: глава 34. Шум, вибрация и другие физические тела [2].

Так как обеспечение безопасности человека на море было и остается важнейшей проблемой судоходства, то дальнейшее изучение вибрации и усовершенствование способов ее устранения, являются актуальной задачей.

**Целью работы** является рассмотрение теоретической задачи – колебания стержня (мачты), которая совершает малые гармонические колебания (вибрации) в направлении, перпендикулярном его оси, получение формулы для вычисления амплитуды вынужденных поперечных колебаний стержня (мачты), что позволит оценить вибрацию на различных сечениях стержня (мачты) по длине под действием гармонической силы частоты  $\omega$ .

**Основная часть.** Для постановки теоретической задачи рассмотрим колебания стержня моделирующего корабельную мачту.

Обычно под термином стержень в акустике называют материальную массу удлиненной цилиндрической формы [3]. Если стержень (мачта) совершает вынужденные колебания, т.е. работает на изгиб, то искомой функцией является ордината  $y(x, t)$  деформированной оси стержня с абсциссой  $x$  и в момент времени  $t$ .

Механическими константами стержня совершающего поперечные колебания являются плотность материала  $\rho$  и модуль Юнга (модуль упругости материала)  $E$ .

Если изгибающий момент стержня обозначим через  $M$ , а  $F(x, t)$  – нагрузку, отнесенную к единице длины, то из технической теории изгиба [4, 5]:

$$EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = M; \quad \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} = F, \quad (1)$$

где  $I$  – момент инерции сечения (поперечного) стержня относительно его оси.

Дифференцируя первое из уравнений (1) два раза по  $x$ , получим, ссылаясь на Смирнова [6]:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = F(x, t).$$

Следуя [6], можно получить уравнение движения, используя один из основных принципов динамики – принцип Даламбера, т.е. в состав внешней силы действующей на точки механической системы включаем еще силу инерции в сечении  $x$ , рассчитав и ее на единицу длины.

В результате получим уравнение 4-го порядка:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + b^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = f(x, t), \quad (2)$$

где  $b^2 = \frac{EI}{\rho S}$ ;  $f(x, t) = \frac{1}{\rho S} F(x, t)$  – внешняя сила;  $S$  – площадь поперечного сечения стержня.

Схематически представим на рис. 1 стержень длиной  $l$ , один конец которого закреплен.

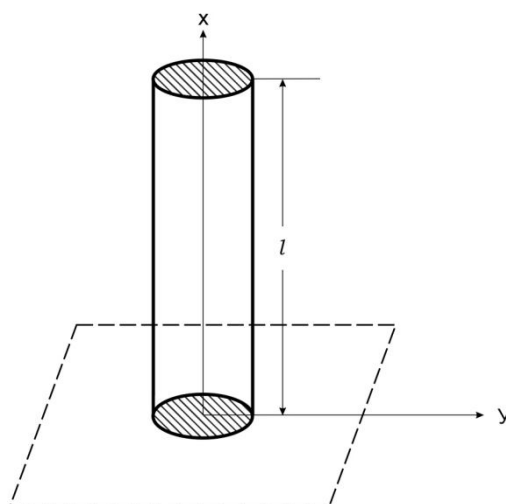


Рисунок 1 – Схематическое представление закрепленного стержня

Так как один конец стержня закреплен ( $x = 0$ ), то крайними условиями при  $x = 0$  являются неподвижность стержня и вертикальность касательной:

$$y|_{x=0} = \frac{\partial y}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0. \quad (3)$$

На свободном конце  $x = l$  краевое условие имеет вид:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \Big|_{x=l} = \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \Big|_{x=l} = 0, \quad (4)$$

так как, изгибающий момент и тангенциальная сила равны нулю.

Поскольку речь идет о вынужденных колебаниях, то (первоначально скорость стержня равна 0 и начальное положение стержня равно 0):

$$y|_{t=0} = \frac{\partial y}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0,$$

т.е. начальные возмущения отсутствуют.

Предварительно найдем собственные значения и функции уравнения свободных колебаний стержня для двух переменных  $x$  и  $t$ .

В случае свободных колебаний стержня, положим в уравнении (2)  $f(x, t) = 0$ , что дает:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + b^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0. \quad (5)$$

Физическая задача о колебаниях стержня свелась к математической задаче: найти решение уравнения (5), которое удовлетворяло бы начальным условиям (2) и граничным условиям (3).

Согласно методу Фурье, частные решения уравнения (5) будем искать в виде произведения двух функций, каждая из которых зависит от одной переменной [7]:

$$y = T(t) X(x).$$

Если подставить выражение  $y = T(t) X(x)$  в уравнение (5), то для  $T(t)$  находим уравнение:

$$T''(t) X(x) + b^2 T(t) X^{(4)}(x) = 0$$

или

$$T''(t) \cdot X(x) = -b^2 X^{(4)}(x) T(t) = 0.$$

Разделим в этом уравнении переменные

$$\frac{T''(t)}{b^2 T(t)} = -\frac{X^{(4)}(x)}{X(x)} = -k^4,$$

где  $k^4$  – постоянная, причем считаем  $k$  вещественным.

Это дает нам для  $T(t)$ :

$$T''(t) + b^2 k^4 T(t) = 0,$$

а для функции  $X(x)$  получаем уравнение четвертого порядка:

$$X^{(4)}(x) - k^4 X(x) = 0.$$

Общее решение уравнения  $T''(t) + b^2 k^4 T(t) = 0$  представляет собой уравнение гармонических колебаний:

$$T(t) = N \sin(bk^2 t + \varphi).$$

Гармонические колебания описываются величиной, изменяющейся по закону косинуса или синуса вида:  $T(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$  – синусоида, где  $A$  – амплитуда,  $\varphi$  – начальная фаза колебания.

Для дифференциального уравнения  $X^{(4)}(x) - k^4 X(x) = 0$  также можно найти общее решение.

Его характеристическое уравнение [6]

$$\alpha^4 - k^4 = 0,$$

при  $k \neq 0$  имеем корни:  $\alpha_1 = k$ ,  $\alpha_2 = -k$ ,  $\alpha_3 = ik$ ,  $\alpha_4 = -ik$ ,

где  $\alpha_1 = k$ ,  $\alpha_2 = -k$  – корни действительные;  $\alpha_3 = ik$ ,  $\alpha_4 = -ik$  – корни мнимые.

Каждому корню отвечает свое решение.

Тогда общее решение этого уравнения для  $X(x)$  выражается как линейная комбинация частных решений:

$$X(x) = C_1 e^{kx} + C_2 e^{-kx} + C_3 \cos kx + C_4 \sin kx$$

или выражая  $e^{kx}$  и  $e^{-kx}$  через  $ch\ kx$  – гиперболический косинус,  $sh\ kx$  – гиперболический синус и изменяя значение произвольных постоянных  $C_1$  и  $C_2$ , можем записать общее решение в виде:

$$X(x) = C_1 ch\ kx + C_2 sh\ kx + C_3 \cos kx + C_4 \sin k.$$

Используя краевые условия при  $x = 0$ , следует равенство

$$X(0) = C_1 + C_3 = 0. \quad (6)$$

Беря производную от  $X(x)$  и полагая  $x = 0$ , получим:

$$X'(0) = k(C_2 + C_4) = 0. \quad (7)$$

С учетом граничных условий (4) берем вторую производную от  $X(x)$  и полагаем  $x = l$ , то

$$X''(l) = k^2 (C_1 ch\ kl + C_2 sh\ kl - C_3 \cos kl - C_4 \sin kl) = 0. \quad (8)$$

Берем третью производную от  $X(x)$  и полагаем  $x = l$ , получим:

$$X'''(l) = k^3 (C_1 sh\ kl + C_2 ch\ kl + C_3 \sin kl - C_4 \cos kl) = 0. \quad (9)$$

Из равенств (6, 7) следует:

$$C_1 = -C_3, \quad C_2 = -C_4, \quad (9)$$

подставляя в  $X(x)$ , получим:

$$X(x) = C_1 (ch\ kx - \cos kx) + C_2 (sh\ kx - \sin kx).$$

Из равенств (8) и (9) получим систему двух однородных уравнений относительно  $C_1$  и  $C_2$ :

$$\begin{cases} C_1 (ch\ kl + \cos kl) + C_2 (sh\ kl + \sin kl) = 0 \\ C_1 (sh\ kl - \sin kl) + C_2 (ch\ kl + \cos kl) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Для решения системы выписывается определитель, а для того, чтобы система (10) имела решение необходимо, чтобы ее определитель был равен нулю, поэтому:

$$ch^2 kl + \cos^2 kl + 2ch kl \cos kl - sh^2 kl + \sin^2 kl = 0, \quad (11)$$

с учетом:

$$\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos(2\alpha)}{2}, \quad \sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos(2\alpha)}{2},$$

получим:

$$\cos^2 kl + \sin^2 kl = 1.$$

Для гиперболического синуса и косинуса справедливо соотношение:

$$ch^2 kl - sh^2 kl = 1.$$

Пользуясь соотношениями:

$$ch^2 kl - sh^2 kl = 1, \quad \cos^2 kl + \sin^2 kl = 1,$$

уравнение (11) перепишем в виде:

$$ch kl \cdot \cos kl = -1. \quad (12)$$

Получили уравнение для  $k$ .

Обозначая  $x = l$ :

$$k l = \mu$$

получаем трансцендентное уравнение для определения вещественных корней  $\mu$ :

$$ch \mu \cdot \cos \mu = -1. \quad (13)$$

Решение уравнения (13) может быть получено графически и имеет бесчисленное множество вещественных корней.

В результате получим следующие значения положительных корней  $\mu$  [3]:

$$\mu_1 = 1,875, \quad \mu_2 = 4,694, \quad \mu_3 = 7,854,$$

а для  $n > 3$  можно воспользоваться формулой для  $\mu_n$

$$\mu_n = \frac{\pi}{2}(2n - 1),$$

которая для  $n > 3$  дает значение  $\mu_n$  с точностью до 3-х десятичных знаков, а для  $n \geq 7$  с точностью до 6 знака.

Положительным корням  $\mu_n = k_n l$  соответствует бесчисленное множество значений параметра  $k$ :

$$k_1, k_2, \dots, k_n, \dots; \quad k_n = \frac{\mu_n}{l}, \dots, \quad k_n = \frac{\mu_n}{l}.$$

При этих значениях  $k$  условие (12) выполняется, одно из уравнений (10) оказывается следствием другого, и можно положить:

$$C_1 = C (sh \mu_n + \sin \mu_n), \quad C_2 = -C (ch \mu_n + \cos \mu_n).$$

Определив  $C_1$  и  $C_2$  и не ограничивая общности, положив  $C = 1$ , получим  $n$  количеств решений  $X_n(x)$ , (искоемое решение  $X(x)$  описано выше):

$$\begin{aligned} X_n(x) = & (sh \mu_n + \sin \mu_n)(ch k_n x - \cos k_n x) - \\ & - (ch \mu_n + \cos \mu_n)(sh k_n x - \sin k_n x) = \\ & \alpha_n(ch k_n x - \cos k_n x) + \beta_n(sh k_n x - \sin k_n x), \end{aligned}$$

где  $\alpha_n = (sh \mu_n + \sin \mu_n)$ ,  $\beta_n = (ch \mu_n + \cos \mu_n)$ .

Вернемся к решению начально-краевой задачи для уравнения вынужденных колебаний.

Пусть:

$$F(x, t) = P \sin \omega t,$$

где  $F(x, t)$  – нагрузка, отнесенная к единице длины (выше обозначили),  $P$  – амплитуда вынужденной (внешней) силы,  $\omega$  – частота вынужденных колебаний.

Разложим функцию  $f(x, t) = \frac{1}{\rho S} F(x, t)$  в ряд аналогичный ряду Фурье по функциям  $X_n(x)$  на интервале  $(0; l)$ .

Учитывая ортогональность функций  $X_n(x)$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) [6], получим ряд по ортогональным функциям с учетом  $n = m$ :

$$f(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} f_m(t) X_m(x).$$

Коэффициенты,  $f_m(t)$  возможно определить благодаря свойству ортогональности функций и получить:

$$f_m(t) = \frac{\int_0^l f(x, t) X_m(x) dx}{\int_0^l X_m^2(x) dx} = \frac{\frac{P}{\rho S} \int_0^l \sin \omega t X_m(x) dx}{\int_0^l X_m^2(x) dx} = \frac{P}{\rho S} \sin \omega t \frac{\int_0^l X_m(x) dx}{\int_0^l X_m^2(x) dx}. \quad (14)$$

Будем искать решение уравнения вынужденных колебаний в виде разложения по найденным выше собственным функциям  $X_m(x)$ :

$$y(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} T_m(t) X_m(x). \quad (15)$$

Подставляя выражение (15) в уравнение (2), воспользовавшись представлением правой части  $f_m(t)$  и приравняв члены с одинаковым индексом  $m$  в этом уравнении, получим:

$$\begin{aligned} T_m''(t) X_m(x) + b^2 T_m(t) X_m^{(4)}(x) &= f_m(t) X_m(x), \\ (T_m''(t) - f_m(t)) X_m(x) + b^2 T_m(t) X_m^{(4)}(x) &= 0, \\ \frac{T_m''(t) - f_m(t)}{b^2 T_m(t)} &= -\frac{X_m^{(4)}(x)}{X_m(x)} = -k_m^4. \end{aligned}$$

Отсюда получаем уравнения относительно  $X_m(x)$  и  $T_m(t)$

$$\begin{aligned} X_m^{(4)} - k_m^4 X_m(x) &= 0, \\ T_m''(t) + k_m^4 b^2 T_m(t) &= f_m(t). \end{aligned} \quad (16)$$

Здесь  $k_m^2 b = \omega_m$  – частота собственных колебаний цилиндра (мачты).

Учитывая однородные начальные условия задачи, получим для  $T_m(t)$  задачу Коши:

$$T_m''(t) + \omega_m^2 T_m(t) = f_m(t), \quad (17)$$

т.е.  $T_m(0) = T_m'(0) = 0$ , ( $m = 1, 2, \dots$ ).

Решение задачи (17) хорошо известно [7]:

$$T_m(t) = \frac{1}{\omega_m} \int_0^t f_m(\tau) \sin \omega_m(t - \tau) d\tau, \quad (18)$$

где

$$f_m(\tau) = \frac{P}{\rho S} \sin \omega \tau \frac{\int_0^l X_m(x) dx}{\int_0^l X_m^2(x) dx} = P_1 \sin \omega \tau \cdot A_m, \quad (19)$$

где  $P_1 = \frac{P}{\rho S}$ .

$$A_m = \frac{\frac{1}{k_m} [\alpha_m (sh \mu_m - \sin \mu_m) + \beta_m (ch \mu_m + \cos \mu_m - 2)]}{\int_0^l X_m^2(x) dx}. \quad (20)$$

Подставляя (19) в (18) получим:

$$\begin{aligned} T_m(t) &= P_1 \frac{A_m}{\omega_m} \int_0^t \sin \omega \tau \sin \omega_m(t - \tau) d\tau = \\ &= P_1 \frac{A_m}{\omega_m} \cdot \frac{1}{2} \int_0^t [\cos((\omega + \omega_m)\tau - \omega_m t) - \cos((\omega - \omega_m)\tau + \omega_m t)] d\tau = \\ &= \frac{P_1 A_m}{2\omega_m} \left[ \frac{\sin \omega t + \sin \omega_m t}{\omega + \omega_m} - \frac{\sin \omega t - \sin \omega_m t}{\omega - \omega_m} \right] = \\ &= \frac{P_1 A_m}{\omega_m} \left[ \frac{\omega_m \sin \omega t - \omega \sin \omega_m t}{\omega_m^2 - \omega^2} \right]. \end{aligned} \quad (21)$$

В случае резонанса ( $\omega = \omega_{m_0}$ ):

$$T_{m_0}(t) = -\frac{P_1 A_{m_0}}{2\omega_{m_0}} \left[ \frac{t\omega_{m_0} \cos \omega_{m_0} t - \sin \omega_{m_0} t}{\omega_{m_0}} \right].$$

Следовательно, при  $t \rightarrow \infty$   $T_{m_0}(t) \rightarrow \infty$ , т.е. решение уравнения вынужденных колебаний становится неограниченным.

Если же резонанса нет ( $\omega \neq \omega_m$ ,  $m = 1, 2, \dots$ ), то:

$$y(x, t) = P_1 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{A_m}{\omega_m} \left[ \frac{\omega_m \sin \omega t - \omega \sin \omega_m t}{\omega_m^2 - \omega^2} \right] X_m(x). \quad (22)$$

Выше определили:

$$\begin{aligned} X_n(x) &= (sh \mu_n + \sin \mu_n)(ch k_n x - \cos k_n x) - \\ &- (ch \mu_n + \cos \mu_n)(sh k_n x - \sin k_n x) = \alpha_n(ch k_n x - \cos k_n x) + \beta_n(sh k_n x - \sin k_n x), \end{aligned}$$

где  $\alpha_n = (sh \mu_n + \sin \mu_n)$ ,  $\beta_n = (ch \mu_n + \cos \mu_n)$ .

$$X_m(x) = \alpha_m(chk_mx - \cos k_mx) + \beta_m(shk_mx - \sin k_mx),$$

где  $\alpha_m = sh \mu_m + \sin \mu_m$ ,  $\beta_m = -(ch \mu_m + \cos \mu_m)$ ,  $\omega_m = k_m^2 b$ ,  $A_m$  – вычисляется по формуле (20).

Таким образом, формула (22) дает амплитуду вынужденных поперечных колебаний мачты (в виде кругового цилиндра) под действием гармонической силы частоты  $\omega$ .

В заключении работы в среде Mathcad 15 [8] найдены зависимости от времени отклонений  $y(x, t)$  для трех сечений стальной мачты:  $x = 2$  м,  $x = 5$  м,  $x = 11$  м и трех частот внешнего воздействия:  $\omega = 1/9$ ,  $\omega = 1/12$ ,  $\omega = 1/15$ .

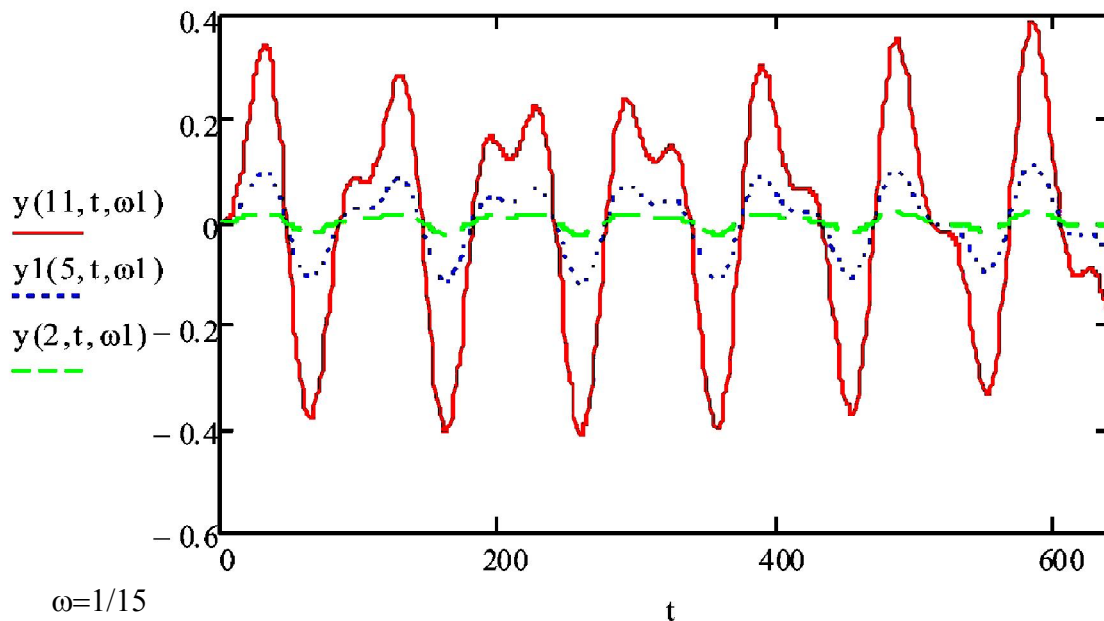


Рисунок 2 –  $y(11, t, \omega_1)$  вибрация мачты на высоте 11 м., сплошная линия графика

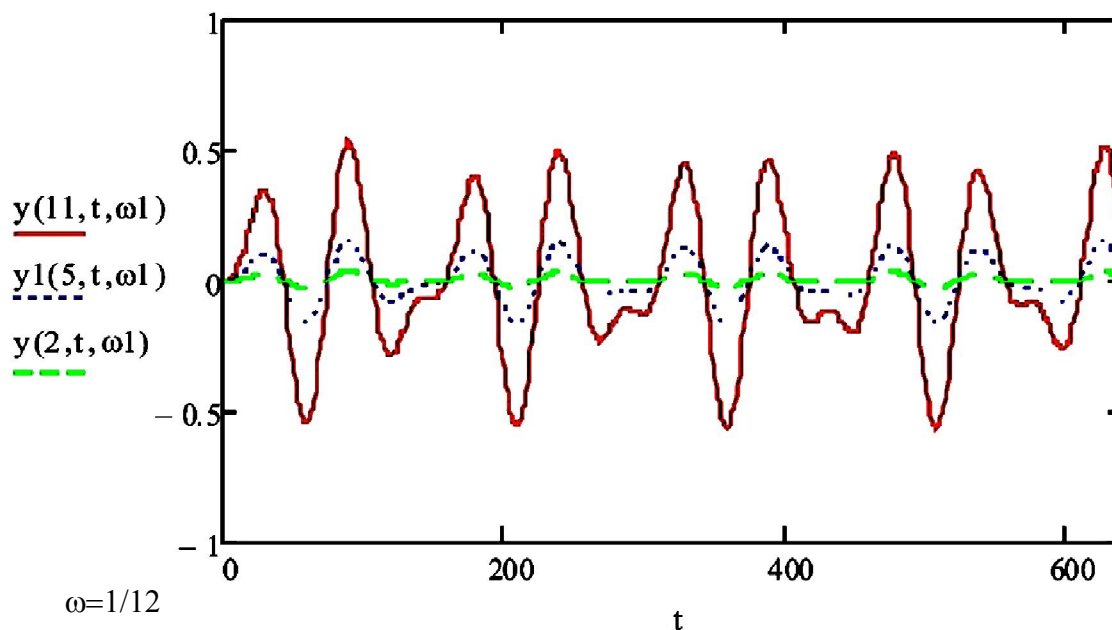


Рисунок 3 –  $y(5, t, \omega_1)$  вибрация мачты на высоте 5 м., мелко пунктирная линия графика

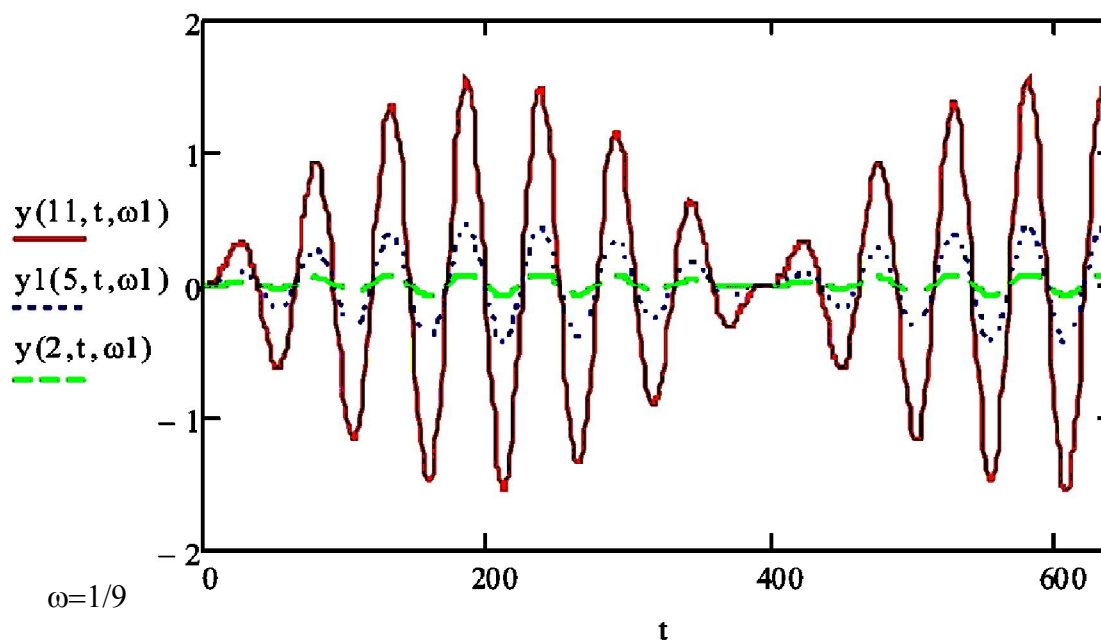


Рисунок 4 –  $y(2,t,\omega_1)$  вібрація мачты на висоті 2 м, крупно пунктирна лінія графіка

Полученные зависимости носят квазипериодический характер.

Из рисунков видно, что наибольшие отклонения величины  $y(x,t)$  наблюдаются с увеличением роста сечений мачты.

**Выводы.** В работе впервые получили формула амплитуду вынужденных поперечных колебаний мачты (в виде кругового цилиндра) под действием гармонической силы частоты  $\omega$ .

В среде Mathcad 15 найдены зависимости от времени отклонений  $y(x,t)$  для трех сечений стальной мачты:  $x=2$  м,  $x=5$  м,  $x=11$  м и трех частот внешнего воздействия:  $\omega=1/9$ ,  $\omega=1/12$ ,  $\omega=1/15$ . К замечанию можно отнести то, что величины  $y(x,t)$  выражены в некоторых относительных единицах, а интерес представляет относительные величины колебаний не только для одной стальной мачты, а для разных материалов, из которых может быть изготовлена мачта.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конвенция о труде в морском судоходстве (КТМС) №186 (англ. : Maritime Labour Convention (MLC)). – Женева, 2006/2013. – 239 с.
2. Кодекс безопасной практики для моряков торговых судов (англ. : Code of Safe Working Practices for Merchant Seamen). Глава 34. Шум, вибрация и другие физические тела (англ. : Noise, vibration and other physical agents). – Лондон, 2010. – 545 с.
3. Стретт Дж. В. (Лорд Рэлей). Теория звука. Т. 1 – М. : Гос. издат. тех. теор. лит., 1955. – 503 с.
4. Корнеев С. А. Техническая теория стержней. Применение обобщённых функций для решения задач сопротивления материалов : учеб. пособие / С. А. Корнеев. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2011. – 83 с.
5. Варданян Г. С. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности : учебник / Г. С. Варданян, В. И. Андреев, Н. М. Атаров, А. А. Горшков. – М., 1995. – 567 с.
6. Смирнов В. И. Курс высшей математики. Т. 2. / В. И. Смирнов. – М. : Гос. издат. тех. теор. лит., 1956. – 628 с.
7. Кошляков Н. С. Уравнения в частных производных математической физики / Н. С. Кошляков, Э. Б. Глинер, М. М. Смирнов. – М. : Высшая школа, 1970. – 712 с.
8. Волков Е. А. Численные методы : учебное пособие для вузов / Е. А. Волков. – М. : Наука, 1987. – 248 с.

## REFERENCES

1. Konvenciya o trude v morskomo sudokhodstve (KTMS) №186 (angl. : Maritime Labour Convention (MLC)). – Zheneva, 2006/2013. – 239 s.
2. Kodeks bezopasnoy praktiki dlya moryakov togovikh sudov (angl. : Code of Safe Working Practices for Merchant Seamen). Glava 34. Shum, vibraciya i drugie fizicheskie tela (angl. : Noise, vibration and other physical agents). – London, 2010. – 545 s.
3. Strett Dzh. V. (Lord Rehleyj). Teoriya zvuka. T. 1 – M. : Gos. izdat. tekhn. teor. lit., 1955. – 503 s.
4. Korneev S. A. Tekhnicheskaya teoriya sterzhneyj. Primenenie obobshchennykh funkciy dlya resheniya zadach soprotivleniya materialov : ucheb. posobie / S. A. Korneev. – Omsk : Izd-vo OmsGTU, 2011. – 83 s.
5. Vardanyan G. S. Soprotivlenie materialov s osnovami teorii uprugosti i plastichnosti : ucheb. posobie / G. S. Vardanyan, V. I. Andreev, N. M. Atarov, A. A. Gorshkov. – M., 1995. – 567 s.
6. Smirnov V. I. Kurs viysshey matematiki. T. 2. / V. I. Smirnov. – M. : Gos. izdat. tekhn. teor. lit., 1956. – 628 s.
7. Koshlyakov N. S. Uravneniya v chastnykh proizvodnykh matematicheskoy fiziki / N. S. Koshlyakov, Eh. B. Gliner, M. M. Smirnov. – M. : Vysshaya shkola, 1970. – 712 s.
8. Volkov E. A. Chislenniye metodih : uchebnoye posobie dlya vuzov / E. A. Volkov. – M. : Nauka, 1987. – 248 s.

**Гусев В.М., Селіванов С.Є. ВІБРАЦІЯ ЗМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ ЩОГЛИ**

У роботі розглядається теоретичне завдання – змушені поперечні коливання щогли (стрижня), яка робить малі гармонійні коливання (вібрації) з якоюсь амплітудою в напрямку, перпендикулярному його осі, при цьому виникає стаціонарне звукове поле. Звичайно під терміном стрижень в акустику називають матеріальну масу подовженої циліндричної форми. Якщо стрижень робить змушені коливання, тобто працює на вигин, то шуканою функцією є ордината  $y(x,t)$  деформованої осі стрижня з абсцисою  $x$  й у момент часу  $t$ . Для розв'язання завдання вважаємо, що один кінець стрижня закріплений, тоді крайовими умовами можуть бути нерухомість стрижня та вертикальність дотичній. Попередньо знаходимо власні значення й функції рівняння вільних коливань стрижня для двох змінних  $x$  і  $t$ . Фізичне завдання про коливання стрижня зводиться до математичного завдання: знайти розв'язок рівняння, яке задовольняло б початковим умовам і граничним умовам. Провівши ряд математичних дій, у підсумку одержали формулу амплітуди змушених поперечних коливань щогли (у вигляді кругового циліндра) під дією гармонійної сили частоти  $\omega$ . У висновку в середовищі Mathcad 15 обчислювалися залежності від часу відхилень  $y(x,t)$  для трьох різних перетинів сталеві щогли та при трьох різних частотах.

**Ключові слова:** теоретичне завдання, вібрація, щогла, звукове поле, вигин, стрижень, вільні коливання, амплітуда.

**Gusev V.N., Selivanov S.E. VIBRATION OF THE COMPELLED FLUCTUATIONS OF THE MAST**

In work the theoretical problem – compelled cross – section mast fluctuation is considered (Core) which makes small harmonious fluctuations (vibration) with any amplitude in Direction, perpendicular its axis, thus there is a stationary sound field. Usually under The term a core in acoustics name material weight of the extended cylindrical form. If the core makes the compelled fluctuations, i.e. works on a bend, as required function Ordinate  $y(x,t)$  of the deformed axis of a core with absciss  $x$  and at the moment of time  $t$ . For problem decisions we consider, that one end of a core is fixed, then regional conditions will be Immovability of a core and vertical position of a tangent. Preliminary we find the own Values and functions of the equation of free fluctuations of a core for two variables  $x$  and  $t$ . Physical The problem about core fluctuations is reduced to a mathematical problem: to find the decision of the equation, which Would satisfy to entry conditions and boundary conditions. Having spent a number of mathematical actions, in Result have received the formula of amplitude of the compelled cross-section fluctuations of a mast (in the form of the circular The cylinder) under the influence of harmonious force of frequency  $\omega$ . In the conclusion in the environment of Mathcad 15 were calculated Dependences on time of deviations  $y(x,t)$  for three various sections of a steel mast and at three Various frequencies.

**Keywords:** a theoretical problem, vibration, a mast, a sound field, a bend, a core, free Fluctuations, amplitude.

© Гусев В.М., Селіванов С.Є.

Статтю прийнято  
до редакції 09.06.15

## УМОВИ КОЛИВНОСТІ РОЗВ'ЯЗКІВ ДЕЯКИХ КЛАСІВ РІВНЯНЬ З ОПЕРАТОРОМ ЛАПЛАСА-БЕЛЬТРАМІ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ЗАДАЧ В НЕОБМЕЖЕНИХ ОБЛАСТЯХ

*Добротвор І.Г.*

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

*Питання коливності розв'язання рівнянь, що описують технічну модель, пов'язані, як правило, із вивченням проблеми розв'язуваності крайових задач. Використовуючи поняття «середнього значення», в просторах з постійною кривизною дають можливість дослідити на коливність деякі типи рівнянь у частинних похідних. Встановлено достатні умови коливності розв'язків деяких класів диференціальних рівнянь у частинних похідних з оператором Лапласа-Бельтрамі парного порядку у просторах постійної кривизни. Зазначено також властивості, які забезпечують умови коливності розв'язків рівняння, що залежать лише від радіальної складової.*

**Ключові слова:** *рівняння, нерівність, коливність, частинна похідна, модель, середнє значення, кривизна, область.*

**Постановка проблеми.** Великий клас задач техніки, фізики та математики моделюється співвідношеннями, змінні параметри яких належать просторам постійної кривизни. Зазвичай під ними розуміють простори з евклідовою геометрією, але ще на початку XIX століття було введено в розгляд й інші простори з кривизною, відмінною від нуля та постійною у всіх точках простору. Геометрії таких просторів називають гіперболічними та сферичними. Бельтрамі довів несуперечливість неевклідових геометрій, реалізувавши їх як внутрішні геометрії добре відомих поверхонь евклідового простору [1]. У випадку гіперболічної геометрії – це псевдосфера, кривизна якої від'ємна, у випадку сферичної геометрії – звичайна сфера з постійною додатною кривизною. Значний інтерес і дослідження в просторах постійної кривизни дозволили ввести в розгляд ріманові многовиди довільної розмірності та довільної постійної кривизни.

Математичні моделі, що виникають при розв'язанні проблем оцінок фізичних і технічних характеристик деяких реальних процесів, описуються диференціальними рівняннями, параметри яких змінюються у просторах постійної кривизни. У даній роботі будемо використовувати простори:  $E^n$  – евклідовий,  $H^n$  – лобачевського,  $S^n$  – рімановий;  $n$  – у всіх випадках вказує на розмірність простору. Не обмежуючи загальності, в подальшому будемо вважати кривизну просторів  $H^n$  та  $S^n$  рівними відповідно  $-1$  та  $+1$ .

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важливою проблемою ряду технічних задач є питання коливності розв'язків рівнянь, що описують модель [2]. Це питання пов'язане, як правило, із вивченням проблеми розв'язуваності крайових задач. Особливо природною постановкою є крайові задачі для диференціальних рівнянь другого порядку, оскільки перетворення в нуль їх розв'язків вказує на можливість розв'язуваності відповідної задачі. Це дозволяє узагальнити поняття коливності на системи диференціальних рівнянь або на рівняння з частинними похідними із змінними, що належать областям просторів постійної кривизни. При цьому для звичайних диференціальних рівнянь використовується означення коливності розв'язку на нескінченному інтервалі: коливними розуміють розв'язки із нескінченною кількістю нулів і неколивними у протилежному випадку [3–5].

У роботах [6–10] для дослідження коливності рівнянь з частинними похідними еліптичного типу, в головній частині якого стоїть оператор Лапласа або його ступінь, використовувалось осереднене значення по сферах у необмеженій області  $\Omega \subset E^n$  ( $E^n$  –  $n$ -вимірний евклідовий простір). Використовуючи поняття «середнього значення» у просторах із постійною кривизною [1], цим прийомом можна дослідити на коливність і деякі типи гіперболічних рівнянь.

**Мета роботи.** Метою роботи є встановлення достатніх умов коливності розв'язків деяких класів диференціальних рівнянь у частинних похідних із оператором Лапласа-Бельтрамі парного порядку у просторах постійної кривизни. Розглянемо неоднорідне рівняння четвертого порядку із змінними коефіцієнтами:

$$L^2 u + c_1(x, Lu) \operatorname{sgn} u + c_0(x, u) = f(x), \quad (1)$$

тут  $L^2 u = L(Lu)$ ,

$$L = \frac{1}{\sqrt{g}} \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \sum_{j=1}^n g^{ij} \sqrt{g} \frac{\partial}{\partial x_j} \right). \quad (2)$$

оператор Лапласа-Бельтрамі.

У позначеннях (2)  $g_{ij} \left( \frac{\partial}{\partial x_i}, \frac{\partial}{\partial x_j} \right)$  – тензор, що задає простір  $X$ ,  $g^{ij} \cdot g_{jk} = \delta_{ik}$ ,  $\delta_{ik}$  – символ Кронекера,  $g = |\det g_{ij}|$ . Відносно функцій  $c_1(x, u)$  і  $c_0(x, u)$  будемо припускати, що вони визначені і неперервні на всьому просторі  $X \times R^1$ ,  $f(x)$  – визначена та неперервна на  $X$ .

**Результати досліджень.** Використовуючи полярно-геодезичні координати, легко довести формулу:

$$\frac{1}{\omega_n} \int_{S_r} \dots \int L u ds = \frac{d}{dr} \left( A(r) \frac{dM}{dr} \right), \quad (3)$$

де  $M_r(u)$  – оператор осереднення:

$$M_r[u(x), p_0] = \frac{1}{A(r)} \int_{S_r} \dots \int u(x) ds, \quad (4)$$

по «сфері»  $S_r$  відповідного простору з центром у точці  $P_0$ ,  $A(r)$  – «площа»  $S_r$ , що обчислюється по формулах  $\omega_n r^{n-1}$  і  $\omega_n \cdot (sh \sqrt{-k} r / \sqrt{-k})^{n-1}$  для евклідового і гіперболічних просторів відповідно. Далі, не обмежуючи загальності, будемо вважати, що  $k = -1$  для  $H^n$ .

**Визначення.** Розв'язання  $u(x)$  рівняння (1) називатимемо коливним в необмеженій області  $\Omega \subset X$ , якщо для будь-якого  $r$   $M_r[u(x), P_0]$  обертається в нуль в області  $E_r \cap \Omega$ ,  $E_r = \{x : |x| \geq r\}$ . Введемо позначення:

$$F(r) = \frac{1}{A(r)} \int_{S_r} \dots \int f(x) ds.$$

**Теорема 1.** Нехай задано рівняння (1) і задовольняються такі умови:

- $c_0(x, -u) = -c_0(x, u)$ ,  $c_1(x, -v) = -c_1(x, v)$  для всіх  $x$  та  $u > 0$ ,  $v > 0$ ;
- $c_0(x, u) \geq p_0(r) \cdot f_0(u)$ ,  $c_1(x, v) \geq p_1(r) \cdot f_1(v)$ , де  $u > 0$ ,  $v \in R^1$ ,  $p_0(r)$  і  $p_1(r)$  – неперервні додатні функції на  $[0, \infty)$ , функція  $f_0(u)$  – неперервна, додатна опукла на  $(0, \infty)$ ,  $f_1(v) \geq 0$  – неперервна функція, парна на  $(-\infty, \infty)$  і не спадна на  $(0, \infty)$ . Тоді, якщо диференціальні нерівності:

$$(A(r)(A^{-1}(r)(A(r)y')'))' + A(r) \cdot p_2(r) \cdot f_1(A^{-1}(r)(A(r)y')) + \\ + A(r) \cdot p_0(r) \cdot f_0(y) \leq \pm A(r)F(r)$$

не мають додатних розв'язків на  $[r_0, \infty)$  для деякого  $r_0 > 0$ , то рівняння (1) має властивість коливальності.

На основі вивчення властивостей диференціальних нерівностей більш загального вигляду, ніж (5), приходимо до твердження.

*Теорема 2.* Нехай задана нерівність:

$$(L_3 y)' + q(r)(f_0(y) + s(r) \cdot f_1(L_2 y)) + h(r) \leq 0, \quad (6)$$

де  $L_3 y = P_1(r)(L_2 y)'$ ,  $L_2 y = P_2(r)(P_1(r)y')'$ , функції  $P_1(r)$ ,  $P_2(r)$ ,  $q(r)$ ,  $s(r)$ ,  $h(r)$  – визначені і неперервні на  $[a, \infty)$ ,  $a > 0$ ;  $f_0(u)$  і  $f_1(v)$  також визначені і неперервні на інтервалах  $(0, \infty)$  і  $(-\infty, \infty)$  відповідно і задовольняються умови:

а)  $P_1(r) > 0$ ,  $P_2(z) > 0$ ,  $r \in [a, \infty)$

$$\int_a^\infty \frac{dr}{P_1(r)} = \infty, \quad \int_a^\infty \frac{dr}{P_2(r)} = \infty; \quad (6)$$

б)  $q(r) > 0$ ;

$$\text{в) } \int_b^\infty q(r) \int_{r_0}^r \frac{dp_1}{P_1(p_1)} \int_{r_0}^{p_1} \frac{dp_2}{P_2(p_2)} \int_{r_0}^{p_2} \frac{dp_3}{P_1(p_3)}, \quad dr = \infty, \quad b > a;$$

г)  $f_0(u)$  – додатна і неспадна на  $(-\infty, \infty)$  функція, для якої

$$\int_a^\infty \frac{dz}{f_0(z)} < \infty, \quad a > 0;$$

д)  $f_1(v)$  – невід'ємна на  $(-\infty, \infty)$  функція й існує дійсне  $\lambda$  таке, що

$$s(r) \cdot f_1(v) \geq \lambda \cdot s(r) \geq -h(r)$$

для всіх  $r > r_0$  і  $v \in R^S$ , тоді диференціальна нерівність (6) не має додатних розв'язків на  $[r_0, \infty)$ .

Повертаючись до вихідного рівня (1), на основі попередніх тверджень, а також теорем із роботи [5] про канонічні форми несамопряжених операторів, приходимо до таких достатніх ознак коливності в просторах  $E^n$  і  $H^n$ .

*Теорема 3.* Рівняння (1) має властивість коливності у просторі  $E^n$  ( $n \geq 2$ ), якщо:

а) виконуються умови а) і б) теореми 1, умова г) теореми 2;

б) існує дійсне  $\lambda > 0$  таке, що для всіх  $r > r_0 > a$  і  $v \in R^1$  має місце співвідношення

$$f_1(v) \geq \lambda \geq \frac{F(r)}{P_1(r)} \geq -\lambda;$$

в) якщо  $n \geq 3$ , то  $f_0(u_1, u_2) > g(u_1) \cdot f_0(u_2)$  для всіх  $u_1, u_2$  таких, що  $0 < u_1 < 1 < u_2$ ,  $g(u)$  – неперервна і додатна функція на  $(0, \infty)$ ;

$$г) \int_1^{\infty} r^3 p_0(r) \ln r dr = \infty, \quad n = 2;$$

$$\int_1^{\infty} r^{n+1} p_0(r) \cdot f_0(cr^{2-n}) dr = \infty; \text{ для всіх } c > 0, \quad n \geq 3.$$

*Теорема 4.* Рівняння (1) має властивість коливності у просторі  $H^n$  ( $n \geq 2$ ), якщо:  
 а) виконуються умови а), б) і в) теореми 3 для  $n \geq 2$ ;  
 б) існує  $a > 0$  таке, що

$$\int_a^{\infty} sh^3 r \ln \left( Hth \frac{r}{2} \right) p_0(r) g \left( c \ln \left( Hth \frac{r}{2} \right) \right) dr = \infty; \quad n = 2;$$

$$\int_a^{\infty} r sh^{2n-2} r Q(r) p_0(r) g(cQ(r)) dr = \infty, \quad n > 3,$$

$$\text{для всіх } c > 0, \quad H = cth \frac{a}{2}, \quad Q(r) = \int_a^1 sh^{1-n} p dp.$$

*Зауваження.* Частковим випадком рівняння (1) буде рівняння:

$$L^2 u + c(x, u) = f(x), \quad (7)$$

для якого умови коливності всіх розв'язків досліджувались в роботах [4, 5] у випадку евклідового простору. Одержані результати можна перенести на відповідні однорідні рівняння.

*Теорема 5.* Нехай  $f(x) \equiv 0$  у рівнянні (7) і задовольняються наступні умови:

- а)  $c(x, -u) = -c(x, u)$ , для всіх  $x$  та  $u > 0$ ;  
 б)  $c(x, u) \geq p(r) \cdot f(u)$ , де  $u > 0$  і  $p(r)$  – неперервна додатна функція на  $[0, \infty)$ , функція  $f(u)$  – неперервна, додатна опукла на  $(0, \infty)$ . Тоді, якщо диференціальні нерівності

$$(A(r)(A^{-1}(r)(A(r)y'))')')' + A(r) \cdot p(r) \cdot f(y) \leq 0$$

не має додатних розв'язків на  $(r_0, \infty)$  для деякого  $r_0 > 0$ , то рівняння (7).

Розглянемо тепер коливні властивості рівняння, що є частинним випадком (7).

$$\Delta W + q(X) W = 0, \quad (8)$$

тут  $\Delta$  – оператор Лапласа,  $q(X)$  – кусково-неперервна функція в деякій області  $D$ , що містить нескінченно віддалену точку простору  $R^3$ .

У тороїдальній системі координат для розв'язків (7), що залежать лише від радіальної складової  $r = a \operatorname{ctg} \tau$ , рівняння (7) приймає вигляд у самоспряженій формі [6]:

$$\frac{d}{d\tau} \left( \frac{sh \tau}{sh \tau - \delta} \frac{dW}{d\tau} \right) + \frac{a^2 sh \tau}{(ch \tau - \delta)^3} q(\tau) W = 0, \quad (9)$$

де:  $\alpha \leq \tau \leq \infty, \quad |\delta| \leq 1$ .

$$\text{Позначимо: } Q(t) = \int_{\alpha}^t \frac{a^2 q(\tau) sh \tau d\tau}{(ch \tau - \delta)^3} \text{ і } S(\lambda) = \{ t \in [\alpha; a) : Q(t) \geq \lambda \}.$$

Для тороїдальних областей має місце наступне твердження.

*Теорема 6.* Нехай задано рівняння (7). Тоді:

а) якщо існує зростаюча послідовність чисел:  $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n < \dots$ ;  $\lim_{n \rightarrow \infty} \lambda_n = \infty$ , така, що

виконується умова  $\lambda_n \cdot \int_{S(\lambda_n)} \left( \frac{sh\tau - \delta}{sh\tau} \right) d\tau \geq 1$ , в такому випадку рівняння (9) коливне.

б) якщо  $\int_{S(\lambda)} \frac{sh\tau - \delta}{sh\tau} d\tau = \infty$  для всіх  $\lambda > 0$ , то (9) коливне.

в) нехай  $\delta = 0$ . Якщо для деякого  $\lambda$  множина  $S(t)$  має скінченну міру, але для деякого  $\mu \in (0; 1)$   $\int_{S(\lambda)} Q^\mu(t) dt = 0$ , тоді (9) є коливним.

*Зауваження.* Зазначені властивості забезпечують умови коливності розв'язків рівняння (8), що залежать лише від радіальної складової. Виконання умов  $sh\tau \cdot q(\tau) \neq 0$  і

$\operatorname{Re} \sqrt{-q(\tau)} \geq 0$  в області  $D \subset R_0^3 = R^3 \setminus K[r_0; 0]$  для рівняння (2) дозволяє виписати головні члени асимптотики розв'язків рівняння (9):

$$U_{1,2} = \frac{ch\tau - \delta}{\sqrt{ch\tau} \cdot \sqrt[4]{-q(\tau)}} \exp \left( \pm a \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{\sqrt{-q(\tau)}}{ch\tau - \delta} d\tau \right) (1 + O(\tau^{-1})).$$

**Висновки.** Отримані достатні умови коливних властивостей розв'язків деяких типів диференціальних рівнянь другого та четвертого порядків із частинними похідними у просторах постійної кривизни: евклідовому, гіперболічному та в тороїдальній системі координат.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хелгасон С. Преобразование Радона. – М. : Мир, 1983. – 140 с.
2. Дослідження динаміки структуроутворення епоксикомпозитів на багатовимірних просторових формах / І. Г. Добротвор. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – Вип. 21. – Кіровоград, 2008. – С. 6-12.
3. Baider A., Feldman E.A. On oscillatory elliptic equations on manifolds // Trans Amer. Math. Soc. – 1980. – 258. – № 2. – P. 495-504.
4. Kusano T., Naito M. Oscillation criteria for general linear ordinary differential equations // Pacific J. Math. – 1981. – 92. – P. 345-355.
5. Иванов А. Ф. Колеблемость решений одного класса функционально-дифференциальных уравнений первого порядка нейтрального типа / А. Ф. Иванов, Т. Кусано // Укр. мат. журн. – 1989. – Т. 41. – № 10. – С. 1370-1375.
6. Nowakowska W., Werbowski W. On connections between oscillatory solutions of functional, difference and differential equations // Fasciculi mathematici. – 2010. – Nr. 43. – P. 95-106.
7. Rongcong X. A note on the oscillation of second-order nonlinear neutral functional differential equations / X. Rongcong, X. Younghui // Int. J. Contemp. Math. Sciences. – 2008. – Vol. 3. – No. 29. – P. 1441-1450.
8. Çakmak D. Oscillation criteria for nonlinear second order differential equations with damping // Укр. мат. журн. – 2008. – Т. 60. – № 5. – С. 694-700.
9. Thandapani E. Oscillation criteria for second-order nonlinear impulsive differential equations with perturbation // International Journal of pure and applied mathematics. – 2014. – Vol. 94. – No. 2. – P. 163-174.

10. Grase S. R. Oscillation of some fourth-order difference equations / S. R. Grase, R. P. Agarwal, M. Bohner, S. Pinelas // International Journal of difference equations. – 2011. – Vol. 6. – N. 2. – P. 105-112.

## REFERENCES

1. Khelgason S. Preobrazovanie Radona. – M. : Mir, 1983. – 140 s.
2. Doslidzhennya dinamiki strukturoutvorenniya epoksikompozitiv na bagatovimirnikh prostorovikh formakh / I. G. Dobrotvor. // Zbirnik naukovikh pracj Kirovogradskjogo nacionaljnogo tekhnichnogo universitetu. – Vip. 21. – Kirovograd, 2008. – S. 6-12.
3. Baider A., Feldman E.A. On oscillatory elliptic equations on manifolds // Trans Amer. Math. Soc. – 1980. – 258. – № 2. – P. 495-504.
4. Kusano T., Naito M. Oscillation criteria for general linear ordinary differential equations // Pacific J. Math. – 1981. – 92. – P. 345-355.
5. Ivanov A. F. Koleblemostj resheniyj odnogo klassa funkcionaljno-differencialjnihkh uravneniyj pervogo poryadka neyjtraljnogo tipa / A. F. Ivanov, T. Kusano // Ukr. mat. zhurn. – 1989. – T. 41. – № 10. – S. 1370-1375.
6. Nowakowska W., Werbowski W. On connections between oscillatory solutions of functional, difference and differential equations // Fasciculi mathematici. – 2010. – Nr. 43. – P. 95-106.
7. Rongcong X. A note on the oscillation of second-order nonlinear neutral functional differential equations / X. Rongcong, X. Younghui // Int. J. Contemp. Math. Sciences. – 2008. – Vol. 3. – No. 29. – P. 1441-1450.
8. Çakmak D. Oscillation criteria for nonlinear second order differential equations with damping // Ukr. mat. zhurn. – 2008. – T. 60. – № 5. – S. 694-700.
9. Thandapani E. Oscillation criteria for second-order nonlinear impulsive differential equations with perturbation // International Journal of pure and applied mathematics. – 2014. – Vol. 94. – No. 2. – P. 163-174.
10. Grase S. R. Oscillation of some fourth-order difference equations / S. R. Grase, R. P. Agarwal, M. Bohner, S. Pinelas // International Journal of difference equations. – 2011. – Vol. 6. – N. 2. – P. 105-112.

## **Добротвор И.Г. УСЛОВИЯ КОЛЕБЛЕМОСТИ РЕШЕНИЙ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ УРАВНЕНИЙ С ОПЕРАТОРОМ ЛАПЛАССА-БЕЛЬТРАМИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЗАДАЧ В НЕОГРАНИЧЕННЫХ ОБЛАСТЯХ**

*Проблемы колеблемости решений уравнений, которые описывают некоторые виды технической модели, как правило, дело с решением краевой задачи исследования. Проблема определения колеблемости и неколеблемости решений дифференциальных уравнений очень активная рассматривалась в последние три десятилетия. Проблема существования колебательных решений первого порядка дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументами были рассмотрены многими авторами. Большая группа инженерных задач по физике и математике описывается переменными, которые относятся к пространствам постоянной кривизны: Евклидово, гиперболические (Лобачевского) и Римана. Решение этого уравнения называется колебательным, если оно имеет бесконечную последовательность нулей, стремящуюся к бесконечности. В противном случае оно называется неколеблющимся.*

*Были получены достаточные условия колебательных свойств решений дифференциальных уравнений с частными производными постоянной кривизны пространств. Единственность решения краевых задач для дифференциальных уравнений с частными производными второго и четвертого порядка, определяются преобразованием их решений в нуль и свидетельствует о возможности соответствующих решений проблемы. Основным инструментом исследования был основан на использовании средних значений на  $n$ -мерной области в соответствующем пространстве. Используя понятие концепции «среднее значение» в пространствах с постоянной кривизной делает возможным изучение колеблемости некоторых типов уравнений в частных производных. Отдельные исследования проводились для решений, которые зависят от радиального параметра. Это позволило привести исследование дифференциальных уравнений в частных производных к свойствам обыкновенных дифференциальных уравнений. В работе показано несколько теорем и следствий в плане свойств колебаний. Получены достаточные условия колеблемости решений некоторых классов дифференциальных уравнений с оператором Лапласа-*

Бельтрами четного порядка в пространствах постоянной кривизны. Были исследованы свойства решений самосопряженных уравнений исследуемых в тороидальных координатах системы в неограниченных областях. Свойства, которые обеспечивают условия колебаний уравнения, зависящих только от радиальной составляющей, были исследованы в данной статье. Полученные результаты могут быть использованы для оценки физико-механических характеристик композиционных материалов и покрытий на их основе.

**Ключевые слова.** Уравнение, неравенство, колеблемость, частная производная, модель, среднее значение, кривизна, область.

**Dobrotvor I.G. OSCILLATORY CONDITIONS OF SOME CLASSES EQUATIONS SOLUTIONS WITH LAPLASE-BELTRAMY OPERATOR AT DESIGN PROBLEMS IN UNLIMITED AREAS**

*The problems of oscillation equations solutions that describe some kinds of technical model, as a rule deal with boundary problem solutions study. The problem of determining the oscillation and nonoscillation of solutions of differential equations has been a very active area in the last three decades. The problem of existence of oscillatory solutions of the first order differential equations with deviating arguments has been considered by many authors. A large group of engineering tasks in physics and mathematics is described by variables that belong to permanent curvature spaces: the Euclidean, hyperbolic (Lobachevsky) and Rymann. A solution of this equation is called oscillatory if it has an infinite sequence of zeros tending to infinity. Otherwise it is called nonoscillatory.*

*Sufficient conditions of oscillation properties for the solutions of differential equations with partial derivatives in the constant-curvature spaces have been obtained. Uniqueness of boundary value problems solutions for differential equations with partial derivatives of the second and fourth order, determined by the transformation of their solutions in the zero and suggests the possibility of appropriate solutions to the problem. The main research tool was based on the use of average values on the n-dimension sphere in the appropriate space. Using a notion «mean value» concept in spaces with permanent curvature makes possible to investigate on oscillation some types of equations in the partial derivatives. Separate studies were conducted for solutions, which depend on the radial parameter only. This allowed to reduce the study of partial differential equations properties to ordinary differential equations ones. Several theorems and consequences are well-proved in terms of oscillation. Sufficient conditions of some classes differential equations oscillation conditions solutions with the Laplace – Beltrami operator of the even order in the spaces of permanent curvature have been found. Properties of selfadjoint form equations solutions are investigational in the toroidal coordinates system in unlimited areas have been investigated. Properties, that provide the terms of oscillation conditions of equation, that depend only on a radial constituent, have been studied in the article. The obtained results can be used for the evaluation of physical-mechanical characteristics of composites and coatings based on them.*

**Keywords:** equation, inequality, oscillation, partial derivative, model, mean value, curvature, area.

© Добротвор І.Г.

Статтю прийнято  
до редакції 04.03.15

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА АСИНХРОННЫХ МАШИН С ФЕРРОМАГНИТНЫМ РОТОРОМ

*Ищенко И.М., Вороненко С.В., Данык В.В.*

*Херсонская государственная морская академия*

*Повышение надежности, экономичности и энергетической (топливной) эффективности в настоящее время является наиболее важной проблемой совершенствования автономных электроэнергетических систем в судовой энергетике. Цель статьи – возможность повышения показателей машины за счет подбора ферромагнитного материала ротора с определенными параметрами, в том числе и с выбором плотности тока в роторе. При этом, выбор параметров машины будем проводить с учетом обеспечения предельных окружных скоростей ротора. Предложенная методика позволяет повысить точность расчета асинхронных машин, сократит объем вычислений с выявлением всех существующих аналитических связей неизвестных параметров. При расчете асинхронных машин с массивным ротором и нанесенным на нем покрытием данная методика позволяет определить оптимальные параметры материала покрытия для получения заданных характеристик машины.*

**Ключевые слова:** судовые энергетические установки, валогенераторные установки, утилизационные турбогенераторы.

**Введение.** На современных судах все более широкое применение находят электроэнергетические системы с валогенераторными установками (ВГУ), что обусловлено такими их достоинствами, как повышение экономичности и надежности судовых энергетических установок (СЭУ), снижение себестоимости вырабатываемой электроэнергии, уменьшение эксплуатационных затрат и др. Кроме того, в настоящее время актуальным становится применение в качестве аварийного пропульсивного комплекса ВГУ, работающей в двигательном режиме. В связи с этим определенный интерес представляет использование в качестве ВГУ дифференциально-планетарной генераторной установки.

Повышение надежности, экономичности и энергетической (топливной) эффективности в настоящее время является наиболее важной проблемой совершенствования автономных электроэнергетических систем в судовой энергетике.

**Актуальность исследований.** Решение этой проблемы обеспечивается применением утилизационных турбогенераторов и валогенераторных установок.

Одним из возможных направлений повышения эффективности систем утилизации тепла выхлопных газов дизелей может быть применение комбинированных (гибридных) турбокомпрессоров наддува с электрической машиной. В качестве такой машины применена машина с постоянными магнитами. Электрические машины с постоянными магнитами, как известно, обладают рядом преимуществ, к основным из которых относятся: бесконтактность, простота эксплуатации, надежность и др. Однако им присущ и ряд существенных недостатков:

- высокая стоимость, особенно машин с магнитами большой энергии;
- сложность обеспечения требуемой механической прочности ротора;
- стоимость регулирования напряжения в генераторном режиме;
- практически невозможность обеспечить пуск в режиме двигателя непосредственно от источника электроэнергии.

Указанные недостатки практически отсутствуют в аналогичных системах с асинхронными машинами. При этом определенные преимущества можно получить в системах с асинхронными машинами с массивным ротором.

Как известно, асинхронные машины с массивным ферромагнитным ротором имеют такие достоинства как относительно высокая кратность пускового момента, низкая кратность пускового момента, высокая механическая прочность ротора и, соответственно, возможность надежно работать при высоких частотах вращения.

Существенным недостатком асинхронных машин с ферромагнитным ротором являются низкие энергетические показатели (КПД и коэффициент мощности), что обусловлено особенностью параметров вторичной цепи.

**Целью статьи** является рассмотрение возможности повышения показателей машины за счет подбора ферромагнитного материала ротора с определенными параметрами, в том числе и с выбором плотности тока в роторе. При этом выбор параметров машины будем проводить с учетом обеспечения предельных окружных скоростей ротора.

**Основной материал.** При определении главных размеров (диаметра расточки статора  $D$  и конструктивного коэффициента  $\lambda$ ) пользуются соотношением:

$$\lambda D^3 = \frac{6,1 \cdot p \cdot P_n \cdot 10^7}{\alpha \cdot K_\phi \cdot K_{об1} \cdot 60 \cdot f_1 \cdot A \cdot B_\delta \cdot \eta \cdot \cos \varphi}. \quad (1)$$

Номинальная мощность двигателя  $P_n$ , число пар полюсов  $p$  и частота  $f_1$  являются величинами заданными. Для решения уравнения (1) предварительно принимаются значения:

- коэффициента полюсного перекрытия –  $\alpha$ ;
- коэффициента формы поля –  $K_\phi$ ;
- обмоточного коэффициента –  $K_{об1}$ ;

в зависимости от  $P_n$  и  $p$  также выбирают:

- индукцию в воздушном зазоре –  $B_\delta$ ;
- линейную нагрузку –  $A$ ;
- к.п.д. –  $\eta$ ;
- коэффициент мощности –  $\cos \varphi$ .

Таким образом, значения  $A$ ,  $B_\delta$  и  $\cos \varphi$  задаются независимо друг от друга. Однако, величина коэффициента мощности  $\cos \varphi$ , пропорциональная кратности намагничивающего тока  $I_\mu/I_{1n}$ , имеет жесткую связь с  $B_\delta$  и  $A$ .

$$\sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \approx \frac{I_\mu}{I_{1n}} = 1,134 \frac{p \cdot \delta \cdot K_n \cdot K_\delta}{K_{об1} \cdot D} \cdot \frac{B_\delta}{A} \cdot 10^{-4}, \quad (2)$$

где  $K_n$  – коэффициент насыщения;  $K_\delta$  – коэффициент воздушного зазора;  $\delta$  – величина воздушного зазора.

Приняв усредненные значения  $K_n$ ,  $K_\delta$ ,  $\delta$ , в результате совместного решения (1), (2) получим

$$B_\delta = \frac{1}{D} \cdot \sqrt{\frac{7,8 \cdot P_n \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\eta \cdot \lambda \cdot \cos \varphi}}, \quad (3)$$

$$A = \frac{p}{D^2} \cdot \sqrt{\frac{1,6 \cdot P_n \cdot 10^6}{\eta \cdot \lambda \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}}. \quad (4)$$

Из (3), (4) следует, что для заданных  $P_n$ ,  $p$  и принятых значений  $\cos \varphi$ ,  $\lambda$ ,  $\eta$  как индукция в воздушном зазоре  $B_\delta$ , так и линейная нагрузка  $A$  имеют однозначную связь с величиной диаметра  $D$ . Поэтому при определении главных размеров нельзя одновременно задаваться величинами  $A$ ,  $B_\delta$ ,  $\cos \varphi$ , а достаточно для принятого  $\cos \varphi$  задаться величиной либо индукции в воздушном зазоре  $B_\delta$ , либо линейной нагрузки  $A$ . В случае заданного диаметра  $D$  величины  $B_\delta$ ,  $A$  определяются величиной коэффициента мощности  $\cos \varphi$ .

При электромагнитном расчете асинхронной машины с массивным ферромагнитным ротором является выбор плотности тока в токопроводящем слое (покрытии) ротора, который может быть выполнен с применением нанотехнологий.

Согласно [5], вторичный ток (ротора), приведенный к первичному, определяется формулой:

$$I_2' = \frac{U_1}{r_1 + jx_1 + \frac{r_2^2}{s}(\pm 1 + j\frac{a_x}{a_r})},$$

где  $a_r=1,4$ ,  $a_x=0,84$  [3] из

$$R_c = \varphi_c \cdot a_r, x_c = \varphi_c \cdot a_x.$$

Здесь

$$\varphi_c = \frac{4 \cdot m_1 \cdot l_1 \cdot W_1^2 \cdot k_{лс} \cdot \sqrt{\omega_1 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \rho}}{\pi D \sqrt{2s}},$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление ферромагнитного ротора;  $\mu_r$  – относительная магнитная проводимость на поверхности ротора при данном скольжении;  $W_1$  – число витков фазы обмотки статора;  $k_{лс}$  – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления ротора за счет лобовых частей;  $l_1$  – длина ротора;  $s$  – скольжение;  $m_1$  – число фаз обмотки статора;  $D$  – диаметр ротора;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\omega_1$  – угловая частота.

Приведенное сопротивление ротора:

$$r_2' = r_2'' \cdot \sqrt{s},$$

где  $r_2'' = \frac{1}{p} \cdot k_\beta \cdot 2 \cdot m_1 \cdot (w_1 \cdot k_{об})^2 \cdot \sqrt{\frac{\mu_0 \cdot \mu_k' \cdot \rho \cdot w_1}{2}} \cdot \frac{I_{1н}}{U_n}$ .

По заданному номинальному скольжению определяем:

$$r_{2н}' = s_n \cdot \frac{U_n}{I_{1н}}.$$

Плотность тока в роторе получим, решая уравнение:

$$j_2 = \frac{s_n \cdot U_1 \cdot 10^2}{2p \cdot k_{об1} \cdot \omega_1 \left( l + \frac{0,75D}{p} \right)},$$

где  $s_n$  – номинальное скольжение;  $l$ ,  $D$  – длина и диаметр ротора.

По величине  $I_2$  и  $j_2$  определяем

$$r_2 = \rho \left( l + 0,75 \frac{D}{p} \right) \frac{j_2}{I_2}.$$

При необходимости учета окружных скоростей ротора машины, а также ее механической постоянной времени обычно определяют механическую мощность из выражений:

$$P_{мех} = P_1(1 - \delta),$$

$$T_j = \frac{J\omega_p^2}{P_{мех}},$$

где  $J$  – момент инерции ротора;  $\omega_p$  – угловая скорость ротора, соответствующая допустимой линейной скорости:

$$T_j = \frac{J\omega_p^2}{P_{мех}},$$

$$J = \frac{M_p \cdot D^2}{8},$$

где  $M_p$  – масса ротора.

Таким образом, расчет асинхронной машины с массивным ферромагнитным ротором целесообразно проводить в предложенном порядке.

По выбранной величине магнитной индукции в воздушном зазоре ( $B_\delta$ ) и принятым  $\lambda$ ,  $\eta$  и  $\cos \varphi$  определяем диаметр  $D$ . По полученному  $D$  определяем  $A$ . Далее, на основании выбранного материала, нанесенного на поверхность ротора (по  $\mu_r$ ,  $\rho$ ), определяем ток и плотность тока в роторе при заданном скольжении, а также другие параметры двигателя.

**Выводы.** Предложенная методика позволяет повысить точность расчета асинхронных машин, сократить объем вычислений с выявлением всех существующих аналитических связей неизвестных параметров. При расчете асинхронных машин с массивным ротором и нанесенным на нем покрытию данная методика позволяет определить оптимальные параметры материала покрытия для получения заданных характеристик машины.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В. А. Автоматизированные электроэнергетические системы судов / В. А. Михайлов. – Л. : Судостроение, 1977. – 510 с.
2. Фрейдзон И. Р. Судовые автоматизированные электроприводы и системы / И. Р. Фрейдзон – Л. : Судостроение, 1988. – 468 с.
3. Плавнорегулируемые трансформаторы, асинхронные и бесконтактные синхронные машины / М. М. Красношарпа и др. – М. : Радио и связь, 1992. – 184 с.
4. Судовые энергетические установки / Г. А. Артемов и др. – Л. : Судостроение, 1987. – 480 с.
5. Специальные электрические машины / А. И. Бертинов и др. – М. : Энергоиздат, 1982. – 552 с.

## REFERENCES

1. Mikhayilov V. A. Avtomatizirovanniye ehlektroehnergeticheskie sistemih sudov / V. A. Mikhayilov. – L. : Sudostroenie, 1977. – 510 s.
2. Freyjdzon I. R. Sudoviye avtomatizirovanniye ehlektroprivodih i sistemih / I. R. Freyjdzon – L. : Sudostroenie, 1988. – 468 s.
3. Plavnoreguliruemiye transformatorih, asinkhronniye i beskontaktniye sinkhronniye mashinih / M.M. Krasnoshapka i dr. – M. : Radio i svyazj, 1992. – 184 s.
4. Sudoviye ehnergeticheskie ustanovki / G.A. Artemov i dr. – L. : Sudostroenie, 1987. – 480 s.
5. Specialjniye ehlektricheskie mashinih / A. I. Bertinov i dr. – M. : Ehnergoizdat, 1982. – 552 s.

## Іщенко І.М., Вороненко С.В., Даник В.В. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ АСИНХРОННИХ МАШИН З ФЕРОМАГНІТНИМИ РОТОРОМ

*Підвищення надійності, економічності та енергетичної (паливної) ефективності в даний час є найбільш важливою проблемою вдосконалення автономних електроенергетичних систем в судновій енергетиці. Мета статті – можливість підвищення показників машини за рахунок підбору феромагнітного матеріалу ротора з певними параметрами, у тому числі і з вибором щільності струму в роторі. При цьому вибір параметрів машини будемо проводити з урахуванням забезпечення граничних окружних швидкостей ротора. Запропонована методика дозволяє підвищити точність розрахунку асинхронних машин, скоротити обсяг обчислень з виявленням всіх існуючих аналітичних зв'язків невідомих параметрів. При розрахунку асинхронних машин з масивним ротором і нанесенням на нього покриття дана методика дозволяє визначити оптимальні параметри матеріалу покриття для отримання заданих характеристик машини.*

**Ключові слова:** суднові енергетичні установки, валогенераторні установки, утилізаційні турбогенератори.

**Ischenko I.M., Voronenko S.V., Danik V.V. CALCULATION FEATURES ASYNCHRONOUS MACHINES WITH FERROMAGNETIC ROTOR**

*Improving the reliability, efficiency and energy (fuel) efficiency is currently the most important problem of improving autonomous electric power systems in the marine energy sector. Purpose of the article - the ability to improve the performance of the machine by selecting a ferromagnetic material of the rotor with certain parameters, including the one for the current density in the rotor. At the same time, the choice of parameters of the machine will be carried out with a view to ensuring the limiting rotational speeds of the rotor. The proposed method improves the accuracy of calculation of asynchronous machines, reduce the amount of computation to identify all existing analytical relations unknown parameters. In the calculation of asynchronous machines with a massive rotor and the coating applied to it this method allows to determine the optimal parameters of the coating material to obtain the desired characteristics of the machine.*

**Keywords:** ship power plants, valogeneratorye installation recovery turbo.

© Іщенко І.М., Вороненко С.В., Даник В.В.

Статтю прийнято  
до редакції 20.04.15

## СИНТЕЗ ПРЕЦИЗІЙНОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ВЕРТОЛЬОТА НА РЕЖИМІ ВИСІННЯ НАД ТОЧКОВИМ ОБ'ЄКТОМ

**Казак В.М., Тимошенко Н.А., Казак В.А.**

*Національний авіаційний університет, м. Київ*

*Запропоновано концепцію та алгоритм синтезу прецизійної стабілізації вертольота на режимі висіння над точковим об'єктом, реалізація якого здійснюється за рахунок використання положень методу аналітичного конструювання за критерієм узагальненої роботи за умови формування керуючих дій за допомогою двох паралельних контурів кожного з каналів*

**Ключові слова:** автоматичне керування, вертоліт, керування, прецизійна стабілізація, синтез.

**Вступ.** Останнім часом спостерігається значне підвищення інтенсивності використання вертольотів для виконання робіт на точкових об'єктах: скидання вантажів у отвори труб (наприклад, атомні електростанції), встановлення секцій телевізійних та радіовеж, а також їх антен, рятувальні роботи, десантування на обмеженій площині тощо. Такі роботи вимагають виконання високоточної стабілізації вертольота відносно точкового об'єкта. Отже, виникає потреба у створенні системи стабілізації вертольота на режимі висіння над точковим об'єктом з прецизійною точністю в умовах негативного впливу факторів зовнішнього середовища та внутрішніх процесів.

При розробці систем автоматичного керування польотом повітряних кораблів (ПК) завжди користуються сучасними методами проектування керуючих систем. Проте безпосереднє застосування цих методів для побудови систем керування і стабілізації вертольота у польоті через його високу коливальність у широкому спектрі частот, внесок в які роблять хвостова балка, несучий та кермовий гвинти та ін., призводять до ускладнення систем автоматичного керування (САК) і надмірного зростання чутливості по відношенню до змін параметрів об'єкта керування, шумам та завадам на входах системи керування, а також випадкових зовнішніх збурюючих дій. При виникненні таких проблем розробники САК застосовують частинні способи проектування з використанням методу спроб та помилок, що є придатними для конкретних задач [1]. У той же час, загального підходу, який дозволив би уникнути наведених труднощів не існує.

Для жорсткої стабілізації вертольота на режимі висіння над заданою точкою висіння його САК повинна активно реагувати на будь-які зрушення відносно цієї точки в обмеженій площині. Таке обумовлено наступними факторами:

- виникненням раптового збурюючого обертового моменту, що діє на вертоліт і утворюваним повітряним потоком, який взаємодіє з потоками, відбитими від підстилаючої поверхні при висінні на малих висотах;
- взаємодією потоків, що циркулюють відносно фюзеляжу між несучим та кермовим гвинтами;
- необхідністю здійснення відбиваючих маневрів вертольота при виникненні порушень стабілізовуваних параметрів його висіння над заданою точкою об'єкта обмеженої площини та ін.

Застосування теорії LQG оптимального керування до задачі стабілізації висіння вертольота відносно заданої точки обмеженої площини дає прийнятну точність стабілізації. Однак у випадках, коли необхідно стабілізувати висіння вертольота відносно центра точкового об'єкта, приходимо до висновку, що оцінка точності стабілізації та тривалості висіння не забезпечується набором штатних для цього режиму датчиків. Тому авторами пропонується розширити вектор стану використанням додаткової інформації від штатних вимірювачів параметрів руху вертольота, а саме вимірювачів швидкості та прискорень.

**Постановка задачі.** Задачу синтезу прецизійної системи стабілізації на режимі висіння над центром точкового об'єкта (рис. 1) сформулюємо наступним чином.

Процес вибору ефективного відновлюючого керування в умовах наведених вище негативних впливів можна віднести до проблеми багатокритеріальної оптимізації, яка полягає у виборі компромісного рішення і вимагає обґрунтування принципу компромісу. Задача вибору оптимального рішення багатокритеріальної польотної ситуації, незалежно від конкретного вибору критерію, полягає в ранжируванні можливих рішень за множиною локальних критеріїв. Тому розв'язання цієї задачі починалось з вибору множини локальних критеріїв, які достатньо повно характеризують систему «вертоліт-екіпаж-САК-погодні умови».

Для задачі відновлення положення вертольота відносно точкового об'єкта на режимі висіння такими критеріями будемо вважати  $\Omega$  – якість (точність) відновлення положення вертольота у повітрі відносно заданої точки – відношення ступеня відновленого лінійного значення координати відхилення до потрібного (заданого);  $t$  – час відновлення за допомогою даного керуючого впливу – характеризує часові витрати на відновлення заданого положення;  $\chi$  – можливість додаткового використання для стабілізації вертольота на режимі висіння керуючих дій пілота.

Отже, враховуючи жорсткі вимоги до задач стабілізації вертольота при висінні над центром точкового об'єкта та до часових витрат на відновлення положення вертольота над цією точкою при дії зовнішніх збурень, а також припускаючи, що найгірші збурення ще не настали, можна сформулювати наступні критерії оптимальності [4]:

$$\begin{cases} K_1(R_i) \rightarrow \max_{\Omega} R_i(\Omega_i, t_1, \chi_i); & i = \overline{1, n}; \\ K_2(R_i) \rightarrow \min_t R_i(\Omega_i, t_1, \chi_i); & i = \overline{1, n}; \\ K_3(R_i) \rightarrow \max_{\chi} R_i(\Omega_i, t_1, \chi_i); & i = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\Omega$  – рішення, що визначене на допустимій множині рішень  $\{R_i\}$ ; якість рішення оцінюється множиною частинних критеріїв  $K = \{K_1, K_2, K_3\}$ .

Нехай відомим є відображення  $f: R^* \rightarrow \Gamma$  та відносна важливість частинних критеріїв  $P = \{P_1, P_2, P_3\}$ . Необхідно визначити оптимальне рішення:

$$R^0 = \text{opt}G[\Gamma(R), P]. \quad (2)$$

Рішення задачі (2) не викликає труднощів, якщо відомими є вектор  $P$  та визначений вид оператора  $\text{opt}G$ . Формалізація задачі (2) може бути представлена наступним чином:

$$\psi \rightarrow A \rightarrow \text{opt}G \rightarrow R^0, \quad (3)$$

де  $\psi$  – ситуація прийняття рішення;  $\text{opt}G$  – схема компромісу;  $R^0$  – ефективне рішення. Концептуальним питанням задачі (3) є зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної.

$$R^0 = \underset{R \in \{R_i\}}{\text{argmax}} \left[ \sum_{i=1}^n P_i K_i(R_i) \right]; i = \overline{1, n} \quad (4)$$

Припустимо, що умови висіння  $T = mg$ , тоді можна скласти рівняння сил та моментів, що діють на вертоліт на цьому режимі [3]:

$$\begin{cases} m\dot{V}_{X_g} + mb\dot{\omega}_z + ml\ddot{\theta} = X_g \\ mb\dot{V}_{X_g} + (\dot{I}_{Z_g} + mb^2)\dot{\omega}_z + mbl\dot{\theta} = M_{Z_g} + mgb(\theta - \vartheta) \\ \dot{V}_{X_g} + b\dot{\omega}_z + l\ddot{\theta} = -g\theta. \end{cases} \quad (5)$$

Систему (5) можна подати у формі рівняння стану системи, які набувають вигляду:

$$\dot{X} = AX + BU + D\eta, \quad (6)$$

де  $X$  – вектор стану;  $U$  – вектор керування;  $\eta$  – вектор збурень;  $A$ ,  $B$  – матриці відповідних аргументів.

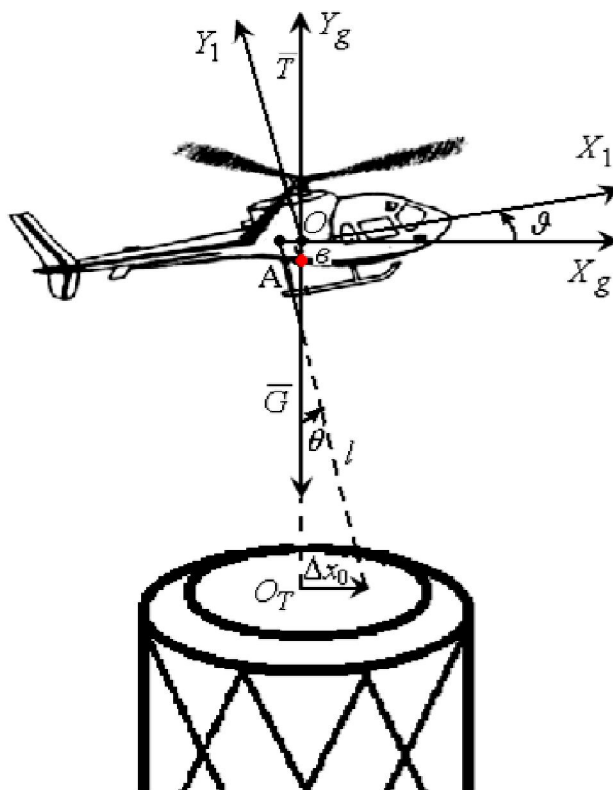


Рисунок 1 – Система «вертоліт–точковий об’єкт»

Отже, використовуючи вимоги (4) та метод аналітичного конструювання за критерієм узагальненої роботи (АКУР), можна визначити оптимальне керування. Для цього на основі системи (5) можна визначити оптимальні керуючі дії, що мінімізують наступний функціонал [2]:

$$J = 0,5 \int_0^{\infty} (X^T Q X + R U^2) dt \quad (7)$$

У якості матриці  $Q$  використовується невід’ємна діагональна матриця:

$$\begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_5 \end{bmatrix},$$

а у якості матриці  $R$  використовуємо одиничну матрицю

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

з урахуванням цього функціонал (2) набуває вигляду:

$$J = 0,5(q_1 x^2 + q_2 \dot{x}^2 + q_3 \ddot{x}^2 + q_4 \theta^2 + q_5 \dot{\theta}^2 + u^2) \quad (8)$$

**Рішення задачі.** Використовуючи систему (5), при синтезі системи автоматичної стабілізації вертольота можна скористатись методом АКУР для визначення алгоритму та закону стабілізації висіння вертольота над точковим об’єктом (рис. 1, точка  $O$ ) так, щоб

вертоліт утримувався з урахуванням несприятливих зовнішніх умов, точно над цією точкою, кут тангажу та його похідні дорівнювали  $\vartheta = 0, \dot{\vartheta} = 0, \gamma = 0, \dot{\gamma} = 0, \psi = \psi_{зад}, \dot{\psi} = 0$ , а також прискорення вийшли на нуль, тобто  $\ddot{X}_g = \dot{V}_{x_g} = j_{x_g} = 0; \ddot{Y}_g = \dot{V}_{y_g} = j_{y_g} = 0; \ddot{Z}_g = \dot{V}_{z_g} = j_{z_g} = 0$ .

Керуючі дії  $U$  формуються за допомогою двох паралельних каскадів (рис. 2), один з яких є швидкодіючим на основі вектора прискорень  $\bar{J}$ , а другий – інерційним контуром на основі вектора швидкості  $\bar{V}$ , причому сигнал інерційного контуру віднімається від сигналу швидкодіючого контуру, який є випереджуючим по відношенню до інерційного (рис. 2) [3].

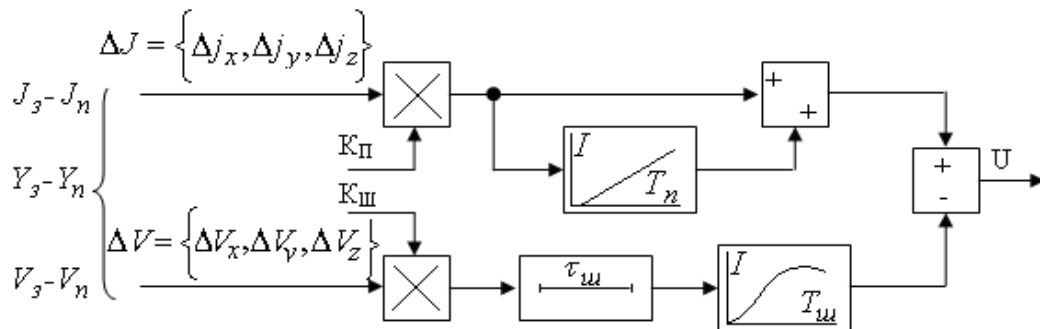


Рисунок 2 – Структурна схема формування керуючих дій

Розроблений стабілізатор (рис. 2.), який є частиною САК, вирішує задачу одночасного підвищення швидкодії та збереження стійкості системи автоматичного керування, що неможливо реалізувати у стандартних схемах, де існує протиріччя, а саме зростання коефіцієнта підсилення  $K$  (1), викликає зниження запасу стійкості системи автоматичної стабілізації і керування.

Першими реагують на порушення умов (7) датчики прискорень  $j_x, j_y, j_z$ , які характеризують короткоперіодичне коливання відносно центра мас вертольота. Другими – вимірювачі швидкості зміщення центра мас вертольота відносно точки  $O$  (рис. 1)  $\dot{H}, \dot{X}, \dot{Z}$ , які характеризують довгоперіодичні коливання центра мас вертольота. Отже для розв'язання завдання стабілізації висіння вертольота відносно заданої точки  $O$  точкового об'єкта (рис. 1) необхідно скласти модель системи з нульовими швидкостями та прискореннями відносно центру точкового об'єкта.

При розв'язанні поставленої задачі виконано моделювання за допомогою пакета програм «Simulink» в середовищі Matlab. При використанні розширеного фільтра Калмана у якості інформаційного забезпечення системи стабілізації висіння вертольота, використовувались дані від вимірювачів швидкості польоту: інерціальної навігаційної системи, супутникової системи навігації або доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу, а також прискорень  $j_x, j_y, j_z$  вимірювачами ДЛП<sub>x</sub> – датчик лінійних прискорень уздовж осі  $X$ , зв'язаної системи координат  $OX_1Y_1Z_1$ ; ДЛП<sub>y</sub> – датчик лінійних прискорень уздовж осі  $Y$ , зв'язаної системи координат  $OX_1Y_1Z_1$ ; ДЛП<sub>z</sub> – датчик лінійних прискорень уздовж осі  $Z$ , зв'язаної системи координат  $OX_1Y_1Z_1$ . У якості прикладу обрано моделювання процесу стабілізації вертольота на режимі висіння у повздовжній площині з початковими умовами  $x_i = [0 \ 10 \ 0 \ 0,20 \ 0,18 \ 0 \ 0]^T$ , які обирались їх підбором у процесі моделювання.

Частина результатів моделювання у середовищі Matlab з використанням розглянутих умов наведена на рис. 3, 4, 5.

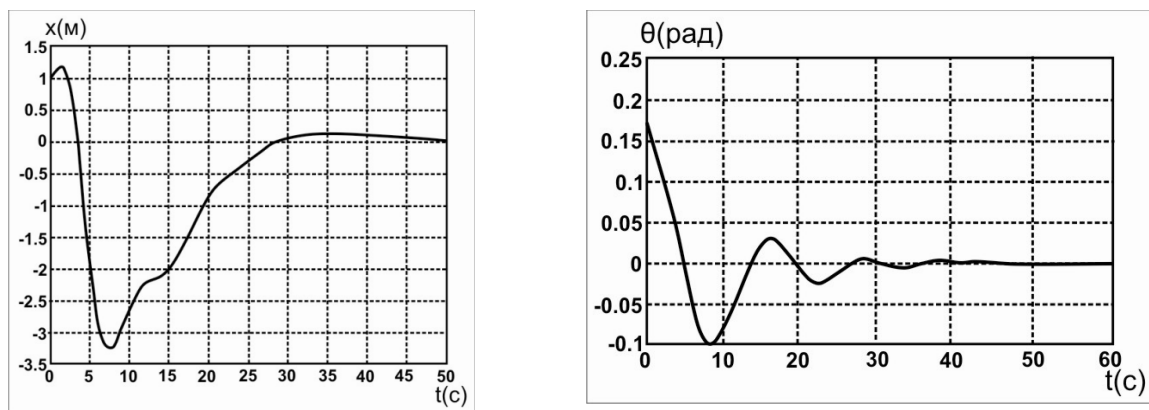


Рисунок 3 – Результати демпфування коливань при вимірюванні  $\dot{X}$  за допомогою доплерівського вимірювача швидкостей

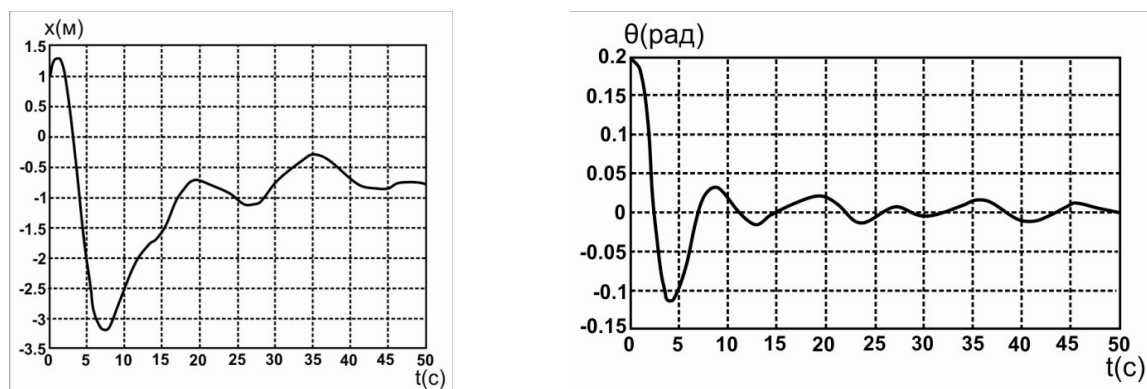


Рисунок 4 – Результати демпфування коливань при вимірюванні  $\dot{X}$  за допомогою інерціальної системи

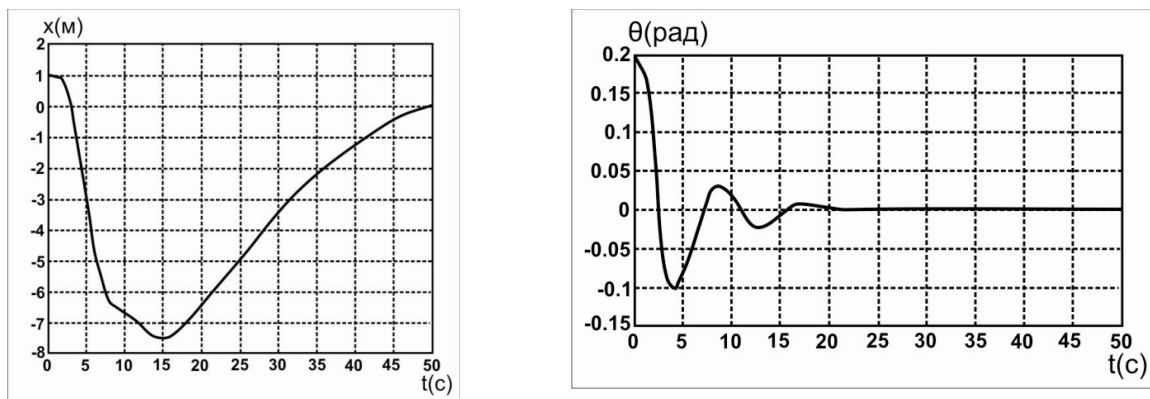


Рисунок 5 – Результати демпфування коливань при вимірюванні  $\dot{X}$  за допомогою супутникової системи

З порівняльного аналізу даних, отриманих при моделюванні, частина яких наведена на рис. 3, 4, 5, можна зробити висновок, що на якість стабілізації висіння вертольота значно впливає спосіб, характеристики та точність вимірювачів швидкісних параметрів. Крім того, підтверджена можливість використання сучасних концепцій керування і стабілізації вертольота без додаткових вимірювальних систем.

У результаті проведеної роботи отримано закон керування вертольотом через відхилення автомата перекосу у повздовжній площині:

$$\delta_g = -0.0641\ddot{X}_g - 0.0320\dot{X}_g - 0.0112X_g + 0.1330\dot{\theta} + 0.2730\theta + 0.2368\dot{\theta} + 0.4350\theta$$

та закон регулювання тяги несучого гвинта вертольота через його загальний крок:

$$\varphi = -0.0068\ddot{X}_g - 0.0026\dot{X}_g - 0.0011X_g + 0.1292\dot{\theta} + 0.0298\theta - 2.4430\dot{\theta} - 0.1703\theta.$$

**Висновки.** Запропоновані концепція та метод синтезу, побудований на основі положень теорії аналітичного конструювання за критерієм узагальненої роботи за умови формування керуючих дії  $U$  за допомогою двох паралельних контурів, виявилися досить ефективними і зручним при практичному використанні й дозволяють створити прецизійну систему стабілізації вертольота на режимі висіння над точковим об'єктом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Safonov M. G. and Athans., Grain and Phase Margin for Multiloop LGG Regulators; IEE Transcriptions on Automatic Control, Vol. AC-22, April 1977. – P. 173-179.
2. Красовський А. А. Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование / А. А. Красовский. – М. : Наука, 1973. – 560 с.
3. Kazak V. M. Model of Stabilization of Helicopter in Hover Mode over a Given Point Object under Destabilizing Action of Weather Conditions / V. M. Kazak, D. O. Shevchuk, N. A. Tymoshenko // Journal of Automation and Control., Science and Education Publishing Co, Newark, United States, Vol. 2. – No. 3. – 2014. – P. 86-90.
4. Кулик А. С. Восстановление измерений навигационной системы в режиме реального времени / А. С. Кулик, С. Н. Фирсов, До Куок Таун, О. Ю. Златкин // Радиоэлектронный и компьютерные системы. – 2008. – № 5 (52). – С. 28-33.

## REFERENCES

1. Safonov M. G. and Athans., Grain and Phase Margin for Multiloop LGG Regulators; IEE Transcriptions on Automatic Control, Vol. AC-22, April 1977. – P. 173-179.
2. Krasovskiy A. A. Sistemih avtomaticheskogo upravleniya poletom i ikh analiticheskoe konstruirovaniye / A. A. Krasovskiy. – M. : Nauka, 1973. – 560 s.
3. Kazak V. M. Model of Stabilization of Helicopter in Hover Mode over a Given Point Object under Destabilizing Action of Weather Conditions / V. M. Kazak, D. O. Shevchuk, N. A. Tymoshenko // Journal of Automation and Control., Science and Education Publishing Co, Newark, United States, Vol. 2. – No. 3. – 2014. – P. 86-90.
4. Kulik A. S. Vosstanovlenie izmereniy navigacionnoy sistemih v rezhime real'nogo remeni / A. S. Kulik, S. N. Firsov, Do Kuok Taun, O. Yu. Zlatkin // Radioehlektronnihiy i komp'yuterniye sistemih. – 2008. – № 5 (52). – S. 28-33.

**Казак В.Н., Тимошенко Н.А., Казак А.А.** СИНТЕЗ ПРЕЦИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЕРТОЛЕТА НА РЕЖИМЕ ВИСЕНИЯ НАД ТОЧЕЧНЫМ ОБЪЕКТОМ

*Предложена концепция и алгоритм синтеза системы прецизионной стабилизации вертолета на режиме висения над точечным объектом, реализация которого производится за счет использования положений метода аналитического конструирования по критерию обобщенной работы при условии формирования управляющих действий с помощью двух параллельных контуров каждого из каналов.*

**Ключевые слова:** автоматическое управление, вертолет, управление, прецизионная стабилизация, синтез.

**Kazak V.M., Tymoshenko N.A., Kazak V.A.** SYNTHESIS OF PRECESSION SYSTEM OF STABILIZATION OF HELICOPTER IN HOVERING MODE ABOVE THE POINT OBJECT

*Proposed conception and algorithm of synthesis of precession stabilization of helicopter in hovering mode above the point object. Algorithm realizing by using of condition of analytic construction method with criterion of generalized work in condition of conformation of control action with support of two parallel contours of each channel.*

**Keywords:** automatic control, helicopter, control, precession stabilization, synthesis.

© Казак В.М., Тимошенко Н.А., Казак В.А.

Статтю прийнято  
до редакції 04.05.15

## ГЕОМЕТРИЧНІ УМОВИ ІСНУВАННЯ МУФТИ З ТОРЦЕВИМИ КАНАТАМИ ТАНГЕНЦІАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ

*Проценко В.О., Бабій М.В., Клементьєва О.Ю.*

*Херсонська державна морська академія*

*У статті запропоновано нову конструкцію муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування. Описані основні переваги цієї муфти порівняно з існуючими конструкціями. За рахунок виконання теоретичних досліджень встановлено основні геометричні обмеження та сформульовано п'ять умов геометричного існування муфт запропонованої конструкції. Отримано математичні вирази для перевірки виконання встановлених геометричних умов існування муфти.*

**Ключові слова:** муфта, канат, неспіввісність, компоновка.

**Вступ.** Сучасні вимоги до забезпечення ресурсозбереження у промисловому виробництві вимагають створення прогресивних конструкцій елементів приводів машин. Серед найбільш важливих та відповідальних особливе місце належить з'єднувальним муфтам, які на сьогодні містять, як правило, пружні елементи спеціальної конструкції, складні та дорогі. З огляду на це, розробка конструкцій та обґрунтування параметрів муфт, що містять в якості пружних елементів деталі масового виробництва, може дати значний резерв для зниження собівартості машинобудівної продукції і тому є актуальним завданням. Одним із напрямів вирішення цього завдання є розробка та дослідження пружно-компенсуючих муфт, у яких роль пружних елементів виконують сталеві канати.

**Аналіз виконаних досліджень та постановка задачі.** На сьогодні відомий порівняно невеликий обсяг робіт, виконаних у галузі канатних муфт [1, 2]. Ці роботи дещо вивели задачу проектування цих пристроїв за межі емпіризму, однак методики проектування більшості конструкцій на сьогодні не створені. В роботі [3] запропонована методика проектування муфти з торцевою установкою прямих канатів [4], у якій пальці обох напівмуфт встановлені в один ряд на одному діаметрі. В такій муфті кількість пальців і канатів обмежується довжиною кола розташування пальців, на якому канати розташовані хордально. При великих навантаженнях і жорстких вимогах до компактності описана муфта матиме невелику кількість коротких канатів великого діаметра, що означатиме її високу жорсткість та великі навантаження від неї на вали за умов наявності неспіввісностей. Тому удосконалення конструкції цієї муфти в напрямі збільшення кількості канатів сприятиме зниженню її жорсткості та підвищенню компенсуючої здатності. Задачею даної роботи є розроблення конструкції та оцінка основних геометричних умов існування муфти з торцевою установкою прямих канатів удосконаленої конструкції, що на наступному етапі досліджень дасть можливість розробити методику проектування таких муфт.

**Виклад основного матеріалу.** Для розв'язання поставленої задачі запропонована конструкція муфти, яка при аналогічних муфті [4] розмірах може мати в декілька разів більшу кількість канатів, що адекватно підвищенню навантажувальної здатності та зниженню додаткових навантажень на вали.

Муфта (рис. 1) складається з двох напівмуфт – зовнішньої 1 і внутрішньої 2, що сполучені за рахунок пружних елементів 3, якими є канати, кожен з яких закріплений одним кінцем 4 в пальці 5, встановленому в зовнішній напівмуфті 1, а іншим кінцем 6 у пальці 7, встановленому у внутрішній напівмуфті 2. Пальці 5 і 7 пропущені в осьові отвори 8 втулок 9 та отвори 10 фланців 11 напівмуфт 1 і 2 та затягнуті гайками 12, що встановлені на їх різьбові кінці 13. Канати пропущені в поперечні пази 14 втулок 9 і пази 15 пальців 5 і 7. Пальці 5 і 7 встановлені у своїх напівмуфтах на різних діаметрах, які виключають інтерференцію суміжних втулок зовнішньої 1 і внутрішньої 2 напівмуфт. Це виконано для того, щоб канати не були розміщені на діаметрі розташування пальців хордально, як у базовій муфті. Це, по-перше, дає можливість збільшити їх кількість при

практично незмінних габаритах, а по-друге, дозволяє виконання муфтою запобіжних перевантаженні муфти і висмикуванні одного з кінців канатів, не відбувався удар суміжних пальців і ведуча напівмуфта могла вільно обертатися.

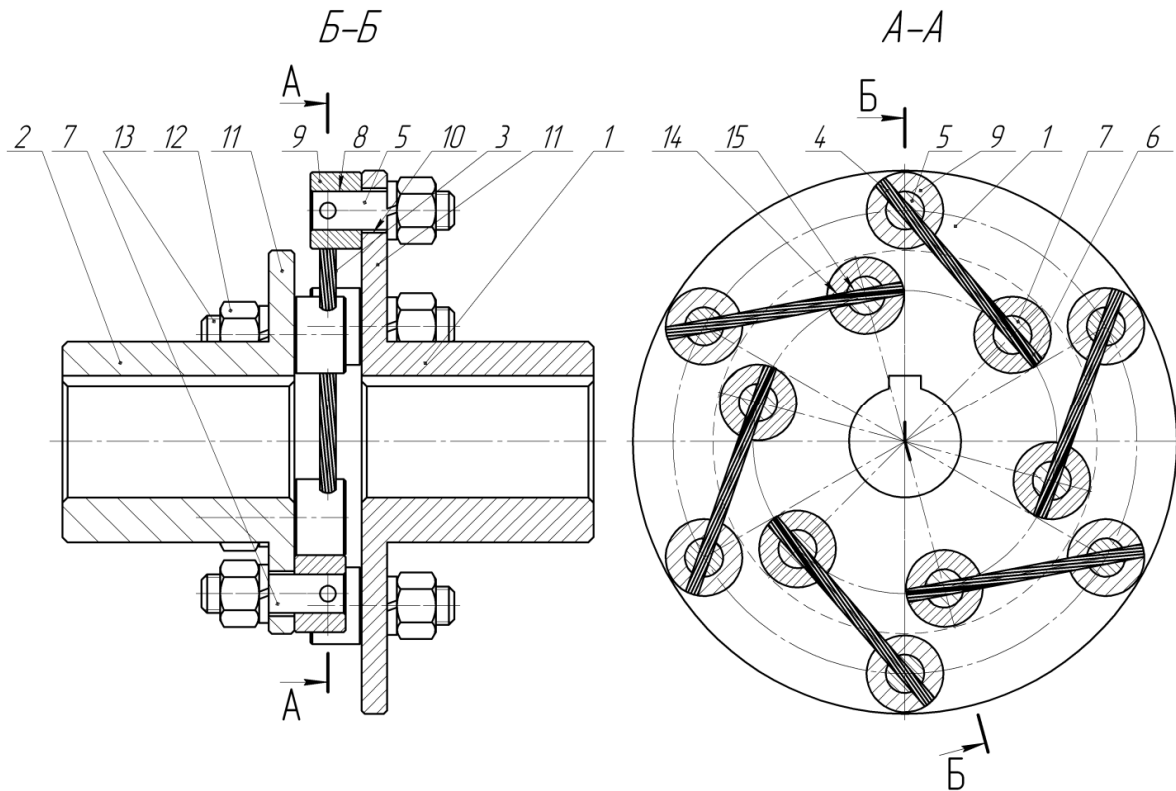


Рисунок 1 – Схема пропонованої муфти

Намагання збільшити кількість канатів  $z$  може призвести до неможливості компоновки муфти через наявність деяких геометричних обмежень, які висувають до існування конкретної конструкції муфти обмежувальні умови. Аналіз цих умов та їх математичний опис наведено нижче. Перевірку умов доцільно виконувати при конструюванні муфти після проектних розрахунків на міцність основних її елементів і визначення діаметра каната  $d_k$  та втулки  $d_{вт}$ , діаметрів розташування пальців зовнішньої  $D_{зв}$  та внутрішньої  $D_{вн}$  напівмуфт.

1. Умова можливості виконання затягування пальців внутрішньої напівмуфти при близькому «сусідстві» гайок суміжних пальців внутрішньої напівмуфти (рис. 2). Умова перевіряється з метою оцінки можливості складання муфти та забезпечення перевищення кроком пальців внутрішньої напівмуфти  $t_{вн}$  відстані  $A$ , регламентованої стандартом:

$$\begin{cases} t_{вн} = D_{вн} \sin \frac{\pi}{z}, \\ t_{вн} \geq A \end{cases} \quad (1)$$

де  $A$  – розмір «під ключ», згідно з ГОСТ 13682-80 [5].

При невиконанні першої умови необхідно зменшити  $z$  та повторити розрахунок на міцність.

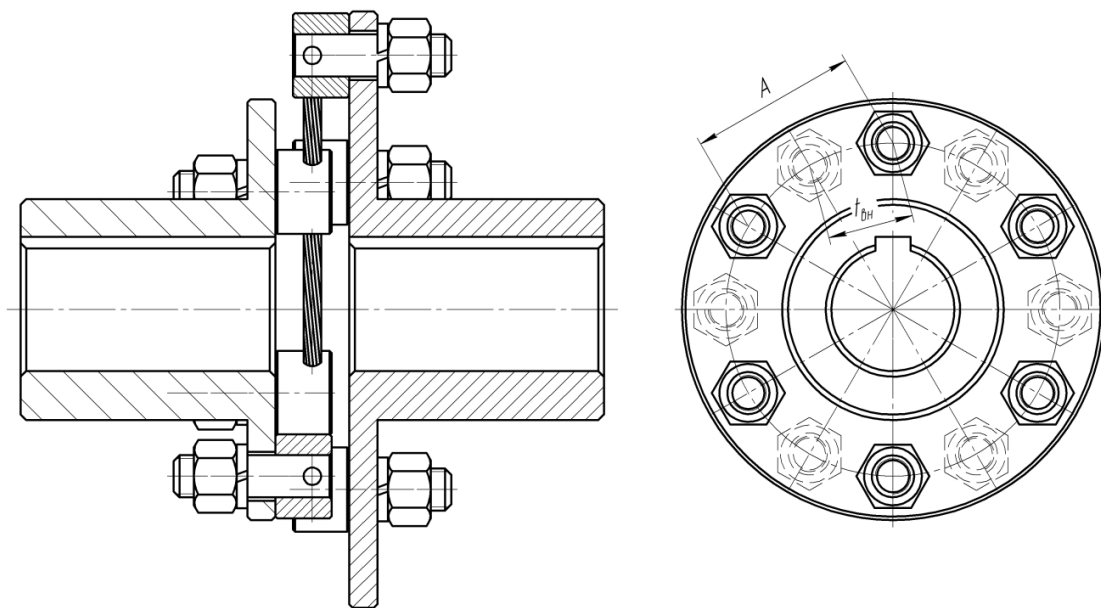


Рисунок 2 – Схема до першої умови (пунктиром показані гайки «зайвих» пальців)

2. Умова можливості «сусідства» суміжних втулок внутрішньої напівмуфти за рахунок наявності зазора  $\kappa_1$  між ними (рис. 3). Умова перевіряється з метою унеможливлення їх інтерференції і перевищення кроком муфти  $t_{вн}$  діаметра втулки  $d_{вн}$ :

$$\begin{cases} \kappa_1 = (t_{вн} - d_{вн}) \\ \kappa_1 \geq (2...4) \text{ мм} \end{cases} \quad (2)$$

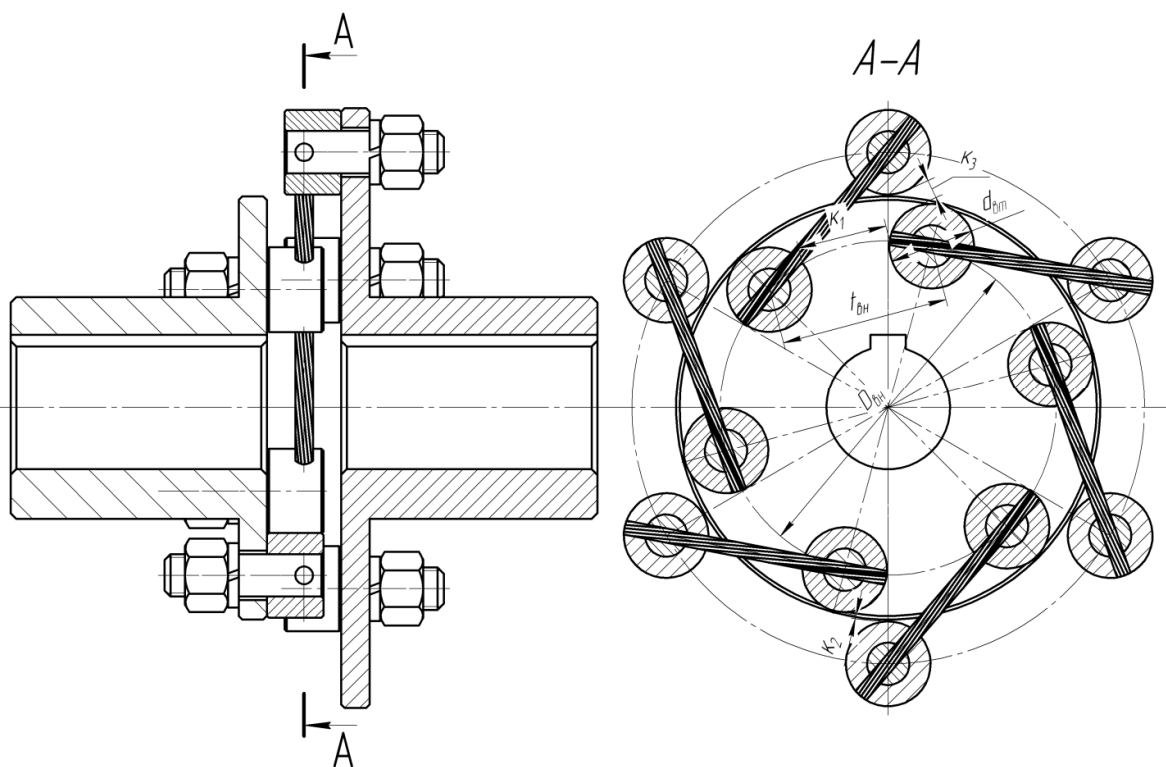


Рисунок 3 – Схема до другої, третьої та четвертої умов

При невиконанні другої умови необхідно зменшити  $z$  та повторити розрахунок на міцність.

3. Умова можливості відносного провертання напівмуфт при висмикуванні канатів за рахунок наявності зазора  $\kappa_2$  між ними (рис. 3). Умова перевіряється для забезпечення безударного обертання ведучої напівмуфти відносно веденої у випадку висмикування канатів при перевантаженні для забезпечення виконання муфтою запобіжної функції, а також уникнення удару втулок при роботі муфти в умовах неспіввісності:

$$\begin{cases} \kappa_2 = 0,5(D_{36} - D_{6H}) \\ \kappa_2 \geq (2...3)[\Delta_r] \end{cases}, \quad (3)$$

де  $[\Delta_r]$  – очікувана радіальна неспіввісність, при якій працюватиме муфта.

При невиконанні третьої умови необхідно збільшити діаметр  $D_{36}$  та виконати перевіровий розрахунок міцності основних елементів.

4. Умова відсутності інтерференції втулки зовнішньої напівмуфти та суміжної втулки внутрішньої напівмуфти виконується за наявності зазора  $\kappa_3$  між ними (рис. 3, рис. 4). Умова перевіряється з метою забезпечення безударної роботи муфти. Слід відзначити, що ця умова може нівелюватися попередньою і виконувати її перевірку доцільно при відсутності необхідності виконання муфтою запобіжних функцій та високих вимог до її компактності при розташуванні пальців зовнішньої напівмуфти між пальцями внутрішньої напівмуфти.

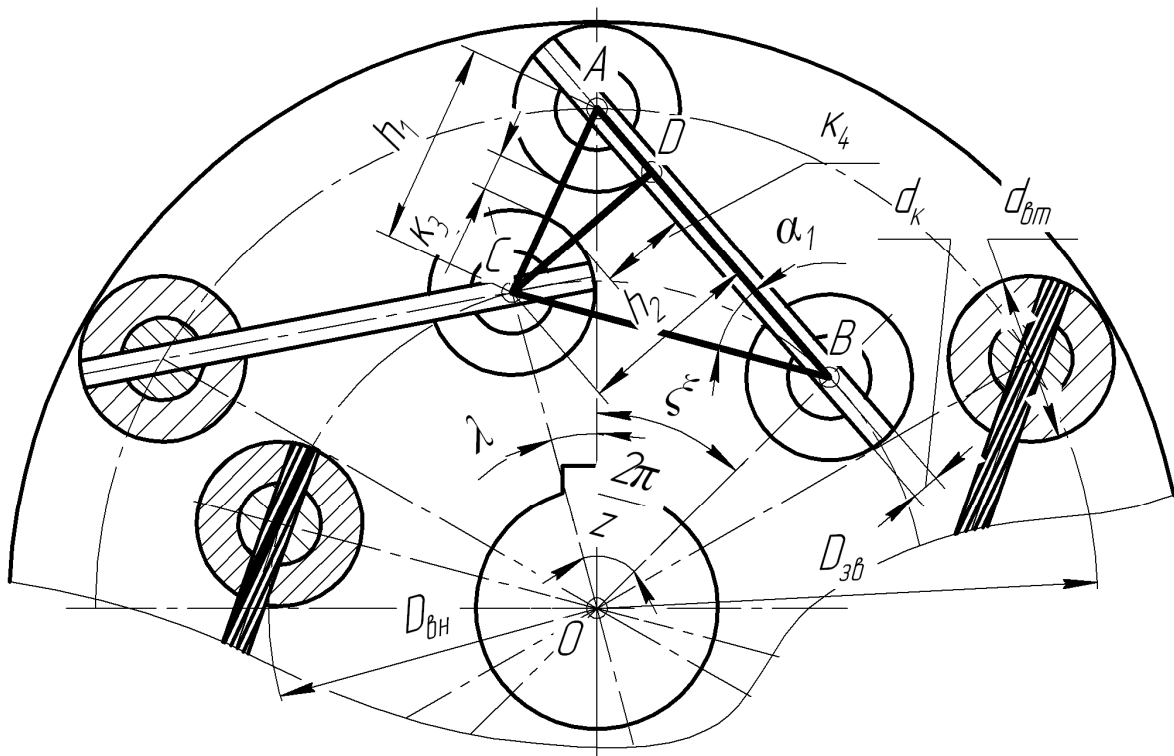


Рисунок 4 – Схема до четвертої та п'ятої умов

$$\begin{cases} \kappa_3 = h_1 - d_{\text{вт}} \\ \kappa_3 \geq [\Delta_r] \end{cases}, \quad (4)$$

де  $h_1$  – відстань між центрами втулки зовнішньої напівмуфти та суміжної втулки внутрішньої напівмуфти.

Для визначення  $h_1$  розглянемо трикутник  $AOC$ , звідки, за теоремою косинусів, врахувавши, що  $OA = 0,5D_{\text{зв}}$ , а  $OB = 0,5D_{\text{вн}}$  отримаємо:

$$\begin{aligned} AC &= \sqrt{OA^2 + OC^2 - 2OA \times OC \times \cos \lambda}, \\ h_1 &= \sqrt{0,25(D_{\text{зв}}^2 + D_{\text{вн}}^2) - 0,5D_{\text{зв}}D_{\text{вн}} \cos \lambda}. \end{aligned} \quad (5)$$

Центральний кут  $\lambda$  між центром втулки зовнішньої напівмуфти  $A$  та центром  $C$  суміжної втулки внутрішньої напівмуфти становить:

$$\lambda = \frac{2\pi}{z} - \xi. \quad (6)$$

Кутове зміщення напівмуфт  $\xi$  повинно бути відомим з початку проектування, орієнтовно  $\xi = \left( \frac{2\pi}{z} \dots \frac{4\pi}{z} \right)$ .

5. Умова відсутності інтерференції втулки внутрішньої напівмуфти та суміжного з нею каната виконується за наявності зазора  $\kappa_4$  між ними (рис. 4). Умова перевіряється для забезпечення нормальних умов роботи канатів муфти.

$$\begin{cases} \kappa_4 = h_2 - 0,5(d_{\text{вт}} + d_{\text{к}}) \\ \kappa_4 \geq (2 \dots 4) \text{ мм} \end{cases}. \quad (7)$$

З трикутника  $ABC$  відстань  $h_2 = CD$  можна визначити зі співвідношення:

$$h_2 = CD = CB \sin \alpha_1 = t_{\text{вт}} \sin \alpha_1. \quad (8)$$

Кут  $\alpha_1$  між віссю каната  $AB$  та хордою  $CB$  можна також визначити з трикутника  $ABC$  використовуючи теорему косинусів і враховуючи, що  $AB = L_{\text{к}}$ ,  $CB = t_{\text{вт}}$ ,  $AC = h_1$ :

$$\begin{aligned} AC^2 &= CB^2 + AB^2 - 2CB \times AB \times \cos \alpha_1; \\ h_1^2 &= t_{\text{вт}}^2 + L_{\text{к}}^2 - 2t_{\text{вт}}L_{\text{к}} \cos \alpha_1. \end{aligned} \quad (9)$$

Звідки отримаємо вираз:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{t_{\text{вт}}^2 + L_{\text{к}}^2 - h_1^2}{2t_{\text{вт}}L_{\text{к}}}. \quad (10)$$

Послідовні обчислення за формулами (10) та (8) дадуть можливість перевірити п'яту умову відповідно до виразів (7). При невиконанні п'ятої умови необхідно збільшити діаметр  $D_{\text{зв}}$  та (або) змінити значення кута  $\xi$  та повторити розрахунок.

**Висновок.** Запропоновано нову конструкцію муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування удосконаленої конструкції, в якій за рахунок тангенціального розташування канатів стало можливим збільшити їх кількість. Збільшення кількості канатів в такій муфті дає можливість підвищити її навантажувальну здатність та безвідмовність. Також у цьому варіанті стає можливим знизити жорсткість та підвищити компенсуючу здатність муфти за рахунок застосування більшої кількості канатів меншого діаметра ніж у відомих конструкціях. За рахунок виконання теоретичних

досліджень встановлено основні геометричні обмеження та сформульовано п'ять умов геометричного існування муфт запропонованої конструкції: можливості затягування кріпильних елементів, можливості «сусідства» втулок внутрішньої муфти, можливості відносного обертання напівмуфт, відсутності інтерференції втулок зовнішньої та внутрішньої напівмуфт, відсутності інтерференції канатів та суміжних втулок внутрішньої напівмуфти. Отримано математичні вирази для перевірки виконання цих умов.

**Напрямки подальших досліджень.** Подальші дослідження слід зосередити на оптимізації її конструктивних параметрів. Наприклад, очевидно, що при збільшенні довжини каната  $L_k$  експлуатаційні показники муфти покращаться, знизиться її жорсткість та підвищиться демпфування. З огляду на це цікавою і актуальною є задача пошуку умов компоновки муфти для забезпечення максимальної довжини каната. Важливими також є задачі динаміки та обчислення зазорів між елементами при її роботі в умовах змінних навантажень та неспіввісностей. Не менший резерв для дослідження мають питання конструювання муфти та ресурсу її слабких ланок – канатів, однак найбільш впевнену відповідь на питання довговічності та браковки канатів можуть дати лише тривалі випробування натурних зразків муфт у лабораторних чи виробничих умовах.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Отчет о научно-исследовательской работе № 72025333 «Разработка и исследование демпфирующих силовых передаточных устройств с канатными связями для главного привода крана» (рук. Ивашин Б. И.). – Одесса : ОПИ, 1972. – 52 с.
2. Проценко В. О. Синтез пружно-компенсующих муфт с канатными элементами : автореферат дис. канд. техн. наук : спец. 05.02.02 – машинознание / В. О. Проценко. – Львів, 2012. – 21 с.
3. Проценко В. О. Проектирование муфты с торцевой установкой прямых канатов / В. О. Проценко. // Гірничі, будівельні, дорожні, меліоративні машини. – К. : КНУБА. – 2011. – Вип. 77 – С. 44-50.
4. Патент на корисну модель МПК F 16 D 3/70, № 63804. Пружна муфта з торцевою установкою канатів / Проценко В. О. ; патентовласник Херсонський національний технічний університет. – заявка у 201102364 від 28.02.2011, опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.
5. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя : В 3 т. / Под ред. Н. И. Жестковой. – М. : Машиностроение, 2006. – 928 с.

### REFERENCES

1. Otchet o nauchno-issledovateljskoyj rabote № 72025333 «Razrabotka i issledovanie dempfiruyutikh siloperedatochnihkh ustroystv s kanatnimi svyaziyami dlya glavnogo privoda kрана» (ruk. Ivashin B. I.). – Odessa : OPI, 1972. – 52 s.
2. Protsenko V. O. Sintez pruzhno-kompensuyuchikh muft z kanatnimi elementami : avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk: spec. 05.02.02 – mashinoznnavstvo / V. O. Protsenko. – Ljviv, 2012. – 21 s.
3. Protsenko V. O. Proektuvannya mufti z torcevoyu ustanovkoyu pryamikh kanativ / V. O. Protsenko. // Girnichy, budivelnjny, dorozhni, meliorativni mashini. – K. : KNUBA. – 2011. – Vip. 77 – S. 44-50.
4. Patent na korisnu modelj MPK F 16 D 3/70, № 63804. Pruzha mufta z torcevoyu ustanovkoyu kanativ / Protsenko V. O. ; patentovlasnik Khersonskijiy nacionalnijiy tekhnichnijiy universitet. – zayavka u 201102364 vid 28.02.2011, opubl. 25.10.2011, Byul. № 20.
5. Anurjev V. I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitelja: V 3 t. / Pod red. N. I. Zhestkovoyj. – M. : Mashinostroenie, 2006. – 928 s.

**Проценко В.А., Бабий М.В., Клементьева О.Ю.** ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ МУФТЫ С ТОРЦЕВЫМИ КАНАТАМИ ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ

*В статье предложена новая конструкция муфты с торцевой установкой канатов тангенциального расположения. Описаны преимущества этой муфты в сравнении с существующими конструкциями. За счет выполнения теоретических исследований установлены основные геометрические ограничения и сформулированы пять условий существования муфт предложенной конструкции. Получены математические выражения для проверки выполнения установленных геометрических условий существования муфты.*

**Ключевые слова:** муфта, канат, несоосность, компоновка.

**Protsenko V.O., Babiy M.V., Klementyeva O.Yu.** GEOMETRICAL CONDITIONS OF EXISTENCE OF COUPLING WITH TANGENTIAL LOCATED ROPES

*The new design of coupling with tangential located ropes is proposed in the article. The advantages of this coupling compared to existing are designs. By providing theoretical researches established the basic geometric constraints and formulated five conditions for the existence of proposed design coupling. The mathematical expression for the verification of the existence of the conditions set by the geometric coupling.*

**Keywords:** coupling, rope, misalignment, layout.

© Проценко В.О., Бабий М.В., Клементьева О.Ю.

Статтю прийнято  
до редакції 06.06.15

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИИ УГЛЕРОДА С ВОЗДУХОМ В ПРОЦЕССЕ ГОРЕНИЯ

**Селиванов С.Е., Тригуб С.Н.**

*Херсонская государственная морская академия*

**Калинчак В.В., Черненко А.С.**

*Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова*

*Работа посвящена актуальной проблеме – профилактике пожарной опасности на судне, связанной с исследованием влияния различных факторов: температуры окружающего воздуха, скорости обдува воздухом, диаметра частицы, относительной скорости движения частицы в воздухе на суммарную скорость химических реакций углерода с газами, что дает возможность изменять характеристики горения, а при оптимальных условиях дает возможность регулировать процесс горения и тем самым обезопасить судно от пожара, что обусловило цель работы. В соответствии с поставленной целью в работе рассмотрена реакционная способность углеродной частицы и построена зависимость скорости химической реакции от температуры при разных скоростях обдува углеродной частицы разного диаметра, проведен анализ влияния скорости обдува на температуру горения частицы при различных ее размерах, исследовано влияние скорости обдува на критические температуры и диаметры воспламенения и погасания. Показано, что при невысоких температурах, меньших 1500 К (диффузионно-кинетическое отношение меньше единицы), скорость химических реакций частицы углерода с воздухом практически не зависит от скорости обдува. В области больших температур (диффузионно-кинетическое отношение больше единицы), с ростом скорости обдува увеличивается скорость реакции. Установлены закономерности влияния температуры нагретого воздуха и скорости обдува на диаметры воспламенения и погасания, а также на температуру и скорость горения углеродной частицы.*

**Ключевые слова:** профилактика, пожарная опасность, углеродная частица, скорость химической реакции, температура, диаметр частицы, скорость обдува воздуха, относительная скорость движения углеродной частицы, горение, воспламенение, погасание.

**Введение.** Пожары на морских судах – явление довольно частое. Из общего количества аварийных случаев на морских судах в среднем до 6 % приходится на пожары. Взрывы и пожары представляют большую опасность для морских судов и приводят к крупным потерям материальных ценностей, а во многих случаях – и к человеческим жертвам.

Среди многих источников воспламенения на судах являются: выхлопные и дымовые газы, электрогазовая сварка и резка, искры при ударе твердых тел, трение, электрические искры,

Основными причинами образования искр при работе котлов являются:

- большой механический унос топлива в результате конструктивных недостатков топок, усиленное дутье, а также применение топлива не того сорта, на которое котел рассчитан;

- неполное сгорание топлива в результате недостаточной подачи воздуха, чрезмерной подачи топлива, недостаточного распыления жидкого топлива;

- нарушение сроков очистки топок и дымовых труб от сажи.

Основные причины образования искр и нагара при работе дизелей следующие:

- неправильная регулировка системы подачи топлива;

- загрязнение топлива смазочным маслом и минеральными примесями;

- длительная работа двигателя с перегрузкой;

- нарушение сроков очистки выпускной системы от нагара.

Искры представляют собой твердые раскаленные частички горючего вещества – сажи (нагара). Воспламеняющая способность искры зависит от ее температуры, теплосодержания и времени действия. Температура искр, достигающая 500–600 °С, достаточна для воспламенения почти всех горючих веществ. Искры, попавшие в трюмы

сухогрузных судов, на палубы и даже во внутренние помещения, часто являлись причиной возникновения пожара.

**Актуальность исследований.** Отметим, что сажа – аморфный углерод, продукт неполного сгорания или термического разложения углеводородов в неконтролируемых условиях, т.е. в условиях пожара.

Угольные частицы при наличии кислорода в смеси способны разогреваться до высокой температуры.

Если угольная частица движется, то, с одной стороны, возрастает теплоотдача к газу от поверхности частицы. С другой стороны, увеличивается подвод кислорода к поверхности частицы и, следовательно, должны повышаться скорости химических реакций. Однако это происходит при высоких температурах, когда скорость реакции определяется скоростью диффузии кислорода и углекислого газа. Известно, что скорость химической реакции углерода с кислородом лежит в основе процесса горения угольной частицы.

Очевидно, что исследование влияния различных факторов на скорость химических реакции углерода с кислородом воздуха в процессе горения изменяет характеристики горения и при оптимальных условиях дает возможность регулировать процесс горения и тем самым обезопасить в данном случае судно от пожара, поэтому данная работа является актуальной.

**Целью данной работы** является исследование влияния температуры, скорости обдува воздуха, диаметра частицы, относительной скорости движения частицы в воздухе на суммарную скорость химических реакций.

В соответствии с поставленной целью в работе рассмотрена реакционная способность углеродной частицы и построена зависимость скорости химической реакции от температуры при разных скоростях обдува углеродной частицы разного диаметра, зависимость скорости химической реакции от относительной скорости частицы в воздухе, зависимость стационарной температуры от относительной скорости частицы.

**Постановка задачи.** Опытами установлено, что в результате взаимодействия кислорода с раскаленной углеродной поверхностью на поверхности частицы протекают две экзотермические гетерогенные реакции  $C + O_2 = CO_2$  (I),  $2C + O_2 = 2CO$  (II) и вторичная гетерогенная эндотермическая реакция между нагретым углеродом и углекислотой:  $C + CO_2 = 2CO$  (III).

Химическая реакция (III) существенно влияет на тепломассообмен углеродной частицы с окружающим газом, как отметили, только при высоких температурах  $T$ , что объясняется большой энергией активации  $E$ , Дж/моль скорости химической реакции и относительно малой концентрации  $Z_{CO_2s}$  на поверхности частицы.

Поскольку углеродная частица представляет собой пористый материал, то эти три гетерогенные реакции могут протекать как на внешней поверхности частицы, так и внутри пористой частицы.

По сценарию работы Калинин В. В. [1] проведем анализ определения суммарной скорости химического реагирования углеродной частицы (в  $кг/(м^2 \cdot с)$ ) по кислороду.

Суммарная скорость  $W_C$  убыли углеродного материала при каждой гетерогенной реакции (I)–(III) определится как:

$$W_C = (W_C)_I + (W_C)_{II} + (W_C)_{III}.$$

По определению, скорость химической реакции по исходному компоненту ( $i$ ) или продукту реакции ( $j$ ) – это скорость уменьшения или увеличения, соответственно, массы исходного вещества или продукта реакции, приходящейся на единицу внешней поверхности частицы:

$$W_i = \frac{1}{\pi d^2} \frac{\partial m_i}{\partial t}, \quad W_j = \frac{1}{\pi d^2} \frac{\partial m_j}{\partial t}.$$

В частности, скорость реагирования углеродной частицы по углероду определяется выражением:

$$W_C = -\frac{1}{\pi d^2} \frac{\partial m_C}{\partial t}.$$

Связь между скоростью по другим газообразным компонентам определяют из уравнений химических реакций на основе закона сохранения массы

$$(W_C)_I = \frac{M_C}{M_{O_2}} (W_{O_2})_I, \quad (W_C)_{II} = \frac{2M_C}{M_{O_2}} (W_{O_2})_{II}, \quad (W_C)_{III} = \frac{M_C}{M_{CO_2}} (W_{CO_2})_{III}.$$

Здесь  $M_C$ ,  $M_{O_2}$ ,  $M_{CO_2}$  – молярные массы углерода, кислорода и углекислого газа.

Если обозначим  $(W_{O_2})_{I,s}$ ,  $(W_{O_2})_{II,s}$ ,  $(W_{CO_2})_{III,s}$  как скорости химических реакций по кислороду и углекислому газу в реакциях (I)–(III) на поверхности частицы, кг/(м<sup>2</sup>с), то с учетом теории столкновений и закона действующих масс скорости гетерогенных химических реакций (I)–(III) по активному компоненту (газообразному веществу, находящемуся в недостатке) пропорциональны концентрации активного компонента и увеличиваются с ростом температуры по закону Аррениуса, т.е. зависимости констант скоростей химических реакции (I)–(III)  $k_i$ , м/с от температуры:

$$k_i = k_{0i} \exp \left[ -\frac{E_i}{RT} \right],$$

где  $k_{0i}$  – предэкспоненты констант скоростей химических реакции (I)–(III),  $R = 8,31$  Дж/(мольК) – универсальная газовая постоянная, (согласно результатам обработки экспериментальных данных по кинетике взаимодействия углерода с газами [2] используем связь между энергиями активации  $E$  и предэкспоненциальными множителями  $k_0$ :

$$\frac{E_{2C+O_2 \rightarrow 2CO}}{E_{C+O_2 \rightarrow CO_2}} = 1,1, \quad \frac{E_{C+CO_2 \rightarrow 2CO}}{E_{C+O_2 \rightarrow CO_2}} = 2,2,$$

где  $k_* = 100$  м/с и  $T_* = 2600$  К).

Запишем скорости химических реакций по кислороду и углекислому газу в виде:

$$(W_{O_2})_{I,s} = k_1 \rho_{gs} Z_{O_{2,s}}, \quad (W_{O_2})_{II,s} = k_2 \rho_{gs} Z_{O_{2,s}}, \quad (W_{CO_2})_{III,s} = k_3 \rho_{gs} Z_{CO_{2,s}},$$

где  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  – константы скоростей химических реакции (I) – (III), м/с;  $\rho_{gs}$  – плотность газа на поверхности частицы, кг/м<sup>3</sup>:  $\rho_{gs} = \rho_{g0} \frac{T_0}{T} \frac{P}{P_0}$ ,  $P$  – давление газа, Па; ( $P_0 = 0.1$  МПа);  $Z_{O_{2,s}}$ ,  $Z_{CO_{2,s}}$  – относительные массовые концентрации кислорода и углекислого газа на поверхности частицы.

Поверхностные концентрации кислорода и углекислого газа  $Z_{O_2,s}$ ,  $Z_{CO_2,s}$  зависят от скорости химических реакций и от скорости массопереноса кислорода и углекислого газа к единице поверхности частицы:

$$Z_{O_2,s} = \frac{1}{1 + Se} Z_{O_2,0},$$

где  $Se$  – число Семенова, диффузионно-кинетическое отношение:

$$Se = \frac{k_1 + k_2 + k_v + U_{s0}}{\beta},$$

где  $\beta = D_g Nu / d$  – коэффициент массопереноса кислорода к поверхности,  $Nu = 2 + a Re^n$  – число Нуссельта,  $Re = \omega d / \nu_g$  – число Рейнольдса,  $d$  – диаметр частицы,  $U_{s0}$  – массовая скорость стефановского течения, возникающего у поверхности частицы в результате появления избыточной массы газа, направленного от поверхности частицы.

Скорость стефановского течения определяется процессами превращения углерода в газообразные вещества и массообменном частицы углерода с газовой фазой. В результате решения задач внешней и внутренней диффузии [1] скорость стефановского течения на поверхности частицы определится как

$$U_{s0} = \frac{M_C}{M_{O_2}} (k_1 + 2k_2) \left( 1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) \left( \frac{\beta}{\beta + k_1 + k_2 + k_v} \right) Z_{O_2,0} +$$

$$+ \frac{M_C}{M_{CO_2}} (k_3 + k_{v3}) \left( \frac{M_{CO_2}}{M_C} \frac{k_1 \left( 1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right)}{\beta + k_3 + k_{v3}} \left( \frac{\beta}{\beta + k_1 + k_2 + k_v} \right) Z_{O_2,0} + \left( \frac{\beta}{\beta + k_3 + k_{v3}} \right) Z_{CO_2,0} \right).$$

$$Z_{CO_2,s} = \frac{M_{CO_2}}{M_{O_2}} \frac{k_1 \left( 1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right)}{\beta + U_{s0} + k_3 + k_{v3}} Z_{O_2,s} + \frac{\beta}{(\beta + U_{s0} + k_3 + k_{v3})} Z_{CO_2,0},$$

где  $M_C$ ,  $M_{O_2}$ ,  $M_{CO_2}$  – молярные массы углерода, кислорода и углекислого газа [1].

С учетом выше приведенных формул определим скорости реакций по углероду в результате реакций взаимодействия углерода с кислородом и углекислым газом:

$$\left. \begin{aligned} (W_C)_I &= \frac{M_C}{M_{O_2}} k_1 \left[ 1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right] \rho_{gs} Z_{O_2,s} \\ (W_C)_{II} &= \frac{2M_C}{M_{O_2}} k_2 \left[ 1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right] \rho_{gs} Z_{O_2,s} \\ (W_C)_{III} &= \frac{M_C}{M_{CO_2}} (k_3 + k_{v3}) \rho_{gs} Z_{CO_2,s} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $k_v = \frac{D_v}{r_s} (Se_v \operatorname{cth} Se_v - 1)$ ,  $k_{v3} = \frac{D_v}{r_s} (Se_{v3} \operatorname{cth} Se_{v3} - 1)$ ,  $Se_v = \sqrt{\frac{(k_1 + k_2) r_s^2 F_v}{D_v}}$ ,  
 $Se_{v3} = \sqrt{\frac{k_3 r_s^2 F_v}{D_v}}$ .

Теплофизические свойства газа (коэффициент диффузии, коэффициент кинематической вязкости, удельная теплопроводность, плотность) рассчитываются согласно зависимостям:

$$D = D_0 \left( \frac{T + T_0}{2T_0} \right)^n, \quad \nu = D \operatorname{Pr}, \quad c = c_0 + \Omega(T - T_0), \quad \rho_{gs} = \rho_{g0} \frac{T_0}{T}.$$

Коэффициент внутренней диффузии выражается через порозность частицы

$$D_v = m^2 \cdot D_g, \quad m = 1 - \frac{\rho}{\rho_{real}},$$

где  $m$  – порозность частицы;  $\rho$ ,  $\rho_{real}$  – плотность углеродной частицы и истинного вещества частицы.

**Влияние скорости движения углеродной частицы на ее характеристики горения.** Получив формулу (1) для вычисления суммарной скорости  $W_C$  убыли углеродного материала при каждой гетерогенной реакции (I)–(III) и проведя расчеты с известными параметрами:  $E_1 = 160 \cdot \text{кДж/моль}$ ,  $F_{v0} = 2 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$ ,  $\rho = 1440 \text{ кг/м}^3$ ,  $m = 0.1$ ,  $a = 0.54$ ,  $n = 0.5$ ;  $D_{g0} = 3.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\rho_{g0} = 0.277 \text{ кг/м}^3$ ;  $T_0 = 1273 \text{ К}$ ,  $c_{g0} = 1185 \text{ Дж/(кг·К)}$ , давление газовой смеси  $P = 1 \text{ атм}$  в среде Mathcad 15 [3] получены зависимости суммарной скорости химической реакции  $W_C$  преобразования углерода от температуры при различных относительных скоростях движения частицы в газе.

На рис. 1, 2 представлены графики суммарной скорости химической реакции  $W_C$  преобразования углерода от температуры при различных относительных скоростях обдува воздуха частицы.

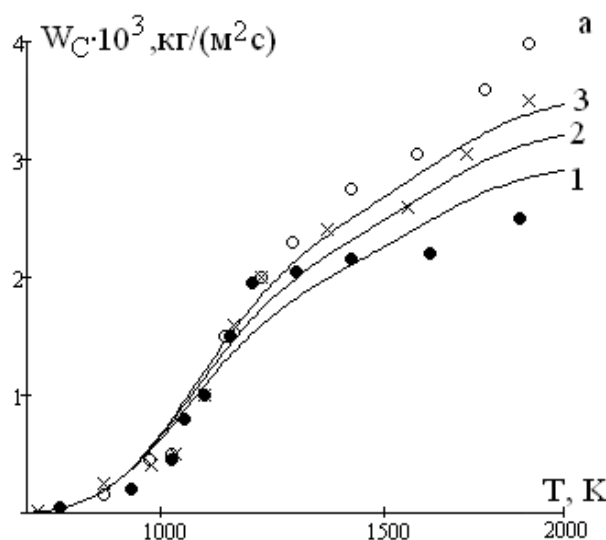


Рисунок 1 – Зависимость скорости химической реакции  $W_C$  от температуры при различных скоростях обдува воздуха частицы антрацита АШ диаметром 15 мм:  
 1 – 0.027 м/с, 2 – 0.060 м/с, 3 – 0.100 м/с.  $\circ$ ,  $\times$ ,  $\bullet$  – данные [4]

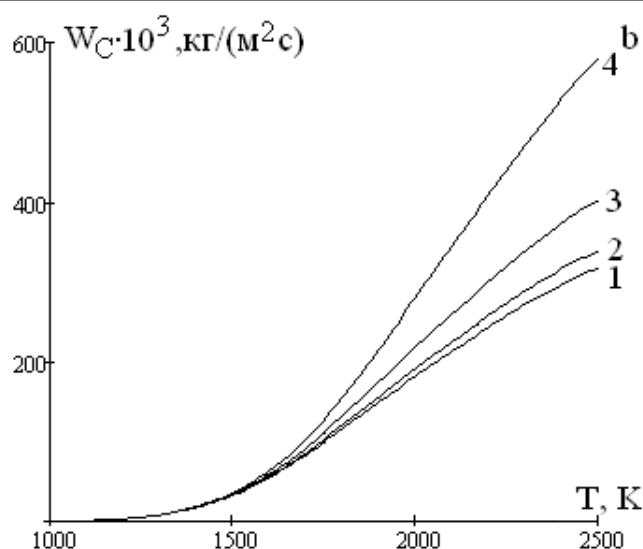


Рисунок 2 – Зависимость скорости химической реакции  $W_C$  от температуры при различных скоростях обдува воздуха частицы антрацита АШ диаметром 100 мкм:  
1 – 0.1 м/с, 2 – 1 м/с, 3 – 10 м/с, 4 – 100 м/с

Влияние скорости воздуха [4] мало при низких температурах, когда определяющим процессом является химическая реакция (число Семенова  $Se \ll 1$ ), и становится значительным при высоких температурах, когда существенную роль играет диффузия (число Семенова  $Se \gg 1$ ). Увеличение скорости приводит к возрастанию числа Нуссельта, а, следовательно, скорости массопереноса окислителя к поверхности частицы.

Так, для крупной частицы (рис.1) можно выделить три области. При  $T < 1200$  К наблюдается кинетический режим протекания реакций (I)–(II) и реакцией (III) можно пренебречь. При  $1200 < T < 1700$  К переходной режим ( $Se$  порядка 1) протекания реакций (I)–(II) и реакцией (III) можно пренебречь. При  $T > 1700$  К дополнительное увеличение скорости преобразования углерода за счет эндотермической реакции (III). С уменьшением размера частицы эти области смещаются в более высокие значения температуры (рис. 2).

Для выяснения влияния скорости движения на температуру и критические условия горения углеродной частицы рассмотрим условие стационарности температуры [5, 6]:

$$\begin{aligned} (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) Z_{O_2} \rho_{gs} \left( 1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) (1 + Se)^{-1} = \\ = \beta \rho_g c_g (T - T_g) + \frac{1}{2} U_{s0} c_g \rho_{gs} (1 + Se)^{-1} + q_w, \\ q_w = \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4). \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь  $\varepsilon$  – коэффициент черноты поверхности частицы,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>4</sup>К) – постоянная Стефана-Больцмана.

Правая часть равенства (2) описывает химическое тепловыделение на единице поверхности в результате гетерогенных реакций (I)–(II). Левая часть – теплообмен кондуктивно-конвективным путем единицы поверхности с окружающим газом с поправкой на стефановское течение и тепловым излучением с окружающими телами. Гетерогенной реакцией (III) при рассмотрении горения и воспламенения мелких частиц можно пренебречь.

В процессе горения число Семенова  $Se_v > 5$ , что позволяет представить константу внутреннего реагирования  $k_v$ , независимую от диаметра частицы, в виде:

$$k_v \approx \sqrt{F_v D_V (k_1 + k_2)}.$$

В этом случае условие стационарности (2) можно представить в виде зависимости числа Нуссельта от стационарной температуры при заданном диаметре частицы:

$$Nu_1 = d \frac{Q_1 k_{01} \left(1 + \frac{Q_2 k_2}{Q_1 k_1}\right) \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2}\right) Z_{O_2} \left(B + \sqrt{B^2 - A_g A_w}\right)}{D_g (T - T_g)} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right), \quad (3)$$

$$Nu_2 = \frac{d}{D_g} \cdot \frac{(k_1 + k_2 + k_v + U_{sk})}{q_{ch, m}} \cdot \frac{\varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4)}{\left(B + \sqrt{B^2 - A_g A_w}\right)}, \quad (4)$$

$$q_{ch, m} = (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2}\right) \rho_{gs} Z_{O_2},$$

$$A_g = \frac{c_g \rho_{gs} (k_1 + k_2 + k_v + U_{sk}) (T - T_g)}{q_{ch, m}}, \quad A_{st} = \frac{U_{sk} \rho_{gs} c_g T_*}{q_{ch, m}},$$

$$B = \frac{1}{2} (1 - A_g - A_w - A_{st}).$$

Для выделения относительной скорости частицы (или скорости потока) используем следующую зависимость числа Нуссельта от числа Рейнольдса:

$$Nu = 2 + 0,16 Re^{2/3}.$$

В результате для фиксированного размера частицы имеем две зависимости относительной скорости частицы от стационарной температуры частицы:

$$\omega_{1,2} = \frac{v_g}{d} \left[ \frac{Nu_{1,2} - 2}{0,16} \right]^{3/2}. \quad (5)$$

Согласно (3)–(5),  $\omega \xrightarrow{T \rightarrow T_g} \infty$  и  $\omega \xrightarrow{T \rightarrow T_w} 0$ . При этом мощность химического тепловыделения становится пренебрежимо малой по сравнению с теплообменом с газом в первом, и с теплообменом излучением – во втором случае.

На рис. 3, 4 представлены зависимости стационарной температуры и скорости химической реакции по углероду для частицы разных диаметров от относительной скорости движения углеродной частицы. Выбранные диаметры взяты таким образом, чтобы  $d_1 < d_{i0}$  для неподвижной частицы, а  $d_2, d_3 > d_{i0}$ . Данные зависимости являются параметрическими (параметр – температура частицы), расчет которых велся по (1) и (5) с учетом (3)–(4).

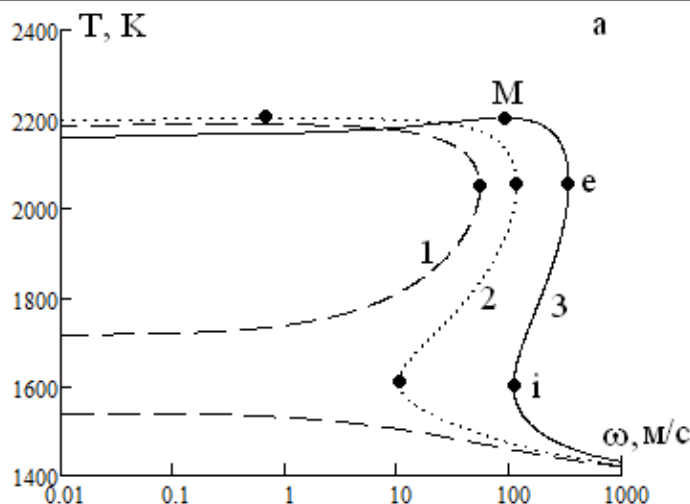


Рисунок 3 – Зависимость стационарной температуры от относительной скорости частицы в воздухе с температурой  $T_g = T_w = 1400$  К и разных диаметров: 1 –  $d = 50$  мкм, 2 –  $d = 60$  мкм, 3 –  $d = 100$  мкм

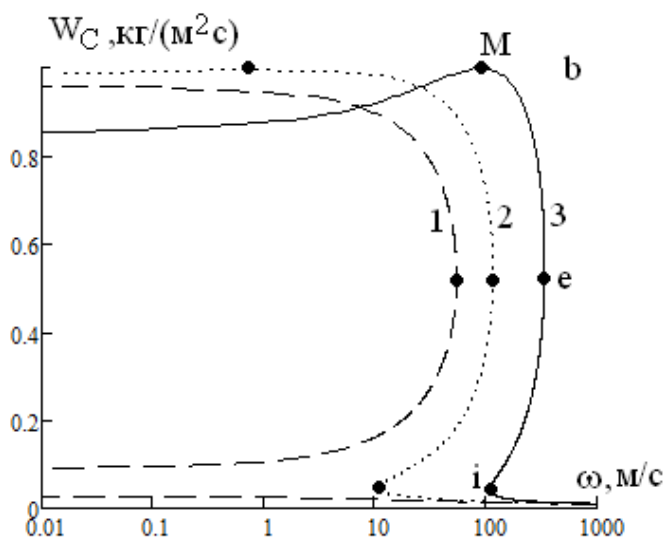


Рисунок 4 – Зависимость скорости химической реакции от относительной скорости частицы в воздухе с температурой  $T_g = T_w = 1400$  К и разных диаметров: 1 –  $d = 50$  мкм, 2 –  $d = 60$  мкм, 3 –  $d = 100$  мкм

При высоких температурах газа и стенок при относительной массовой концентрации кислорода  $Z_{O_2} = 0,23$  существует только один явно выраженный предел горения по скорости обтекания (точка е). Самопроизвольно (т.е. независимо от начальной температуры) воспламеняются только те частицы, для которых относительная скорость движения ниже  $\omega_i$ : возрастание скорости потока способствует увеличению коэффициента теплообмена частицы с газом и ухудшению условий самовоспламенения частицы.

Частицы, относительная скорость в газе которых принадлежит интервалу  $(\omega_i, \omega_e)$ , переходят на высокотемпературный режим тепломассообмена только при увеличении их начальной температуры выше температуры, соответствующей кривой, соединяющей критические точки (точки i и e).

С уменьшением диаметра частицы максимальные температуры частицы, естественно, уменьшаются (рис. 3). С ростом относительной скорости частицы ( $d \gg d_{i0}$ ) за счет возрастания массопереноса кислорода к поверхности частицы квазистационарная

температура высокотемпературного окисления возрастает. Для частиц, размеры которых близки к критическому диаметру воспламенения, влияние скорости на температуру горения мало.

Критические значения скоростей, соответствующих самовоспламенению и погасанию, с уменьшением диаметра частицы уменьшаются достаточно быстро (рис. 4). Обращаем внимание на существование минимальных диаметров, которые ограничивают области самовоспламенения и погасания.

На рис. 5 приведены критические значения диаметра и скорости движения частицы, при которых происходит смена режима тепломассообмена ( $d_i(\omega)$  – самовоспламенение,  $d_e(\omega)$  – погасание).

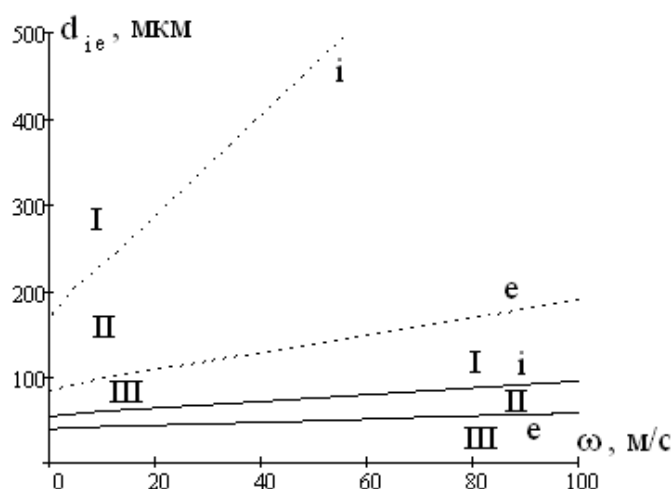


Рисунок 5 – Зависимости критических диаметров воспламенения и погасания частицы от скорости ее движения в воздухе при температурах: сплошная –  $T_g = T_w = 1400$  К, пунктирная –  $T_g = T_w = 1200$  К

С увеличением относительной скорости частицы эти критические значения увеличиваются.

На зависимости  $d_{i,e}(\omega)$  выделяют три области параметров скорости и диаметра частицы. Область III соответствует диапазонам значений диаметров выше  $d_e$  и скоростей ниже  $\omega_e$ . Область III определяет низкотемпературные состояния, где частица самопроизвольно не воспламеняется. В области I ( $d > d_i$ ,  $\omega < \omega_i$ ) осуществляется переход на высокотемпературный режим при любом значении начальной температуры. В областях II ( $d_e < d < d_i$ ,  $\omega_i < \omega < \omega_e$ ) наблюдается гистерезисный характер тепломассообмена. Внутри гистерезисных петель переход на высокотемпературный режим возможен при начальной температуре большей критического значения.

При увеличении температур газа и стенок происходит уменьшение критических значений диаметра  $d_i$  и  $d_e$ . Область II сужается, и при некотором значении температуры газа происходит вырождение критических условий.

**Выводы.** Показано, что при невысоких температурах, меньших 1500 К (диффузионно-кинетическое отношение меньше единицы), скорость химических реакций частицы углерода с воздухом практически не зависит от скорости обдува. В области больших температур (диффузионно-кинетическое отношение больше единицы) с ростом скорости обдува увеличивается скорость реакции.

Установлены закономерности влияния температуры нагретого воздуха и скорости обдува на диаметры воспламенения и погасания, а также на температуру и скорость горения углеродной частицы. Рост температуры воздуха при постоянных скоростях

обдува приводит к уменьшению диаметра воспламенения в большей степени, чем диаметра погасания углеродной частицы. Это объясняется тем, что воспламенение происходит в кинетической области, а погасание углеродной частицы в переходной области. Показано, с ростом скорости обдува при постоянной температуре воздуха происходит увеличение диаметров воспламенения и погасания с разной скоростью, однако повышение температуры воздуха приводит к уменьшению этих скоростей.

Проведенный анализ зависимости температуры и скорости горения от скорости обдува показал, что горение частицы углерода протекает в области, близкой к диффузионной. Поэтому наблюдается только слабое увеличение температуры и скорости горения с ростом скорости обдува.

Дальнейшие исследования направлены на установление влияния скорости движения частицы на температуру и скорость горения, критические условия зажигания в условиях комнатных температур для пористых углеродных частиц.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинчак В. В. Влияние диаметра и температуры пористых углеродных частиц на высокотемпературную кинетику образования оксида углерода и углекислого газа / В. В. Калинчак, Ю. А. Зинченко, А. С. Черненко, Р. Д. Куземко // Физика аэродисперсных систем. – 2013. – № 50. – С. 69-85.
2. Основы практической теории горения : учебное пособие для вузов // В. В. Померанцев. – Л. : Энергоатомиздат, Ленинградское отд-ние, 1986. – 312 с.
3. Кирьянов Д. В. Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.
4. Хитрин Л. М. Физика горения и взрыва / Л. М. Хитрин. – М. : Издательство Московского университета. – 1957. – 442 с.
5. Калинчак В. В. Влияние излучения на критические режимы тепло- и массообмена при параллельных реакциях на поверхности частицы // Физика горения и взрыва. – 1994. – Т. 30, № 4. – С. 63-74.
6. Калинчак В. В. Горение и самопроизвольное погасание пористых углеродных частиц в азотно-кислородных смесях комнатной температуры / В. В. Калинчак, А. С. Черненко // Физика горения и взрыва. – 2013. – Т. 49, № 2. – С. 80-88.

## REFERENCES

1. Kalinchak V. V. Vliyanie diametra i temperaturih poristikh uglerodnykh chastic na vihsokotemperaturnuyu kinetiku obrazovaniya oksida ugleroda i uglekislogo gaza / V. V. Kalinchak, Yu. A. Zinchenko, A. S. Chernenko, R. D. Kuzemko // Fizika aehrodispersnykh sistem. – 2013. – № 50. – S. 69-85.
2. Osnovih prakticheskoyj teorii gorenija : uchebnoe posobie dlya vuzov // V. V. Pomerancev. – L. : Ehnergoatomizdat, Leningradskoe otd-nie, 1986. – 312 s.
3. Kirjyanov D. V. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. – SPb. : BKhV-Peterburg, 2012. – 432 s.
4. Khitrin L. M. Fizika gorenija i vzrihva / L. M. Khitrin. – M. : Izdatelstvo Moskovskogo universiteta. – 1957. – 442 s.
5. Kalinchak V. V. Vliyanie izlucheniya na kriticheskie rezhimih teplo- i massoobmena pri parallelnykh reakciyakh na poverkhnosti chasticih // Fizika gorenija i vzrihva. – 1994. – T. 30, № 4. – S. 63-74.
6. Kalinchak V. V. Gorenje i samoproizvoljnoe pogasanje poristikh uglerodnykh chastic v azotno-kislorodnykh smesyakh komnatnoy temperaturih / V. V. Kalinchak, A. S. Chernenko // Fizika gorenija i vzrihva. – 2013. – T. 49, № 2. – S. 80-88.

**Селіванов С.Є., Тригуб С.М., Калінчак В.В., Черненко О.С. ВПЛИВ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ШВИДКІСТЬ ХІМІЧНИХ РЕАКЦІЙ ВУГЛЕЦЮ З ПОВІТРЯМ У ПРОЦЕСІ ГОРІННЯ**

*Робота присвячена актуальній проблемі – профілактиці пожежної небезпеки на судні, пов'язаної з дослідженням впливу різних факторів: температури навколишнього повітря, швидкості обдуву повітрям, діаметра частки, відносної швидкості руху частки в повітрі на сумарну швидкість хімічних реакцій вуглецю з газами, що дає можливість змінювати характеристики горіння, а при оптимальних умовах дає можливість регулювати процес горіння й тим самим забезпечити судно від пожежі, що обумовило мету роботи. Відповідно до поставленої мети в роботі розглянута реакційна здатність вуглецевої частки й побудована залежність швидкості хімічної реакції від температури при різних швидкостях обдуву вуглецевої частки різного діаметра, проведений аналіз впливу швидкості обдуву на критичні температури й діаметри запалення й загасання. Показано, що при невисоких температурах, менших 1500 К (дифузійно-кінетичне відношення менше одиниці), швидкість хімічних реакцій частки вуглецю з повітрям практично не залежить від швидкості обдуву. В області більших температур (дифузійно-кінетичне відношення більше одиниці) з ростом швидкості обдуву збільшується швидкість реакції. Установлені закономірності впливу температури нагрітого повітря й швидкості обдуву на діаметри запалення й загасання, а також на температуру й швидкість горіння вуглецевої частки.*

**Ключові слова:** профілактика, пожежна небезпека, вуглецева частка, швидкість хімічної реакції, температура, діаметр частки, швидкість обдуву повітря, відносна швидкість руху вуглецевої частки, горіння, запалення, загасання.

**Selivanov S.E., Trigub S.N., Kalinchak V.V., Chernenko A.S. INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON SPEED CHEMICAL REACTIONS OF CARBON WITH AIR IN THE COURSE OF BURNING**

*Work is devoted an actual problem – preventive maintenance of fire danger on a vessel connected with Research of influence of various factors: temperatures of air, speed обдува Air, diameter of a particle, relative speed of movement of a particle in air on the total Speed of chemical reactions of carbon with gases that gives the chance to change characteristics of burning, And under optimum conditions gives the chance to regulate burning process and by that to secure Vessel from a fire that has caused the work purpose. According to an object in view in work Reactionary ability of a carbon particle is considered and dependence of speed chemical is constructed Reactions from temperature at different speeds обдува a carbon particle of different diameter, it is spent The analysis of influence of speed on temperature of burning of a particle at its various sizes, it is investigated Influence of speed обдува on critical temperatures and diameters of ignition and загасання. It is shown, That at low temperatures, smaller 1500 K (the diffuzionno-kinetic relation is less Units), speed of chemical reactions of a particle of carbon with air practically does not depend on speed обдува. In the field of the big temperatures (the diffuzionno-kinetic relation is more than unit), with Growth of speed обдува speed of reaction increases. Laws of influence are established Temperatures нагрітого air and speed обдува for diameters of ignition and загасання, and also on Temperature and speed of burning of a carbon particle.*

**Keywords:** preventive maintenance, fire danger, a carbon particle, speed of chemical reaction, Temperature, diameter of a particle, speed обдува air, relative speed of movement of the carbon Particles, burning, ignition.

© Селіванов С.Є., Тригуб С.М., Калінчак В.В., Черненко О.С.

Статтю прийнято  
до редакції 24.05.15

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АМПЛИТУДНЫХ ОПТОВОЛОКОННЫХ ДАТЧИКОВ

**Худяков И.В.**

*Херсонское мореходное училище рыбной промышленности*

**Белоусов Е.В., Савчук В.П.**

*Херсонская государственная морская академия*

*Обосновывается выбор типа и конструктивные особенности датчика для контроля по характеру протекания рабочего процесса, способного в течение длительного времени работать в характерных условиях с точностью, необходимой для эффективного функционирования систем управления двигателем. Выявлен ряд преимуществ амплитудных оптоволоконных датчиков давления перед существующими тензорезистивными, индуктивными и емкостными. Эти преимущества обусловлены их принципом действия. Установлено, что на метрологические характеристики датчика более всего влияет величина силы затяжки мембраны и взаимное линейное и угловое расположение излучающих и приемных волокон.*

**Ключевые слова:** амплитудный оптоволоконный датчик давления отражательного типа, оптоволоконная головка, индикаторный кран, мембрана.

**Актуальность проблемы.** Одним из основных параметров, отражающих режим работы и состояние судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС), является характер изменения давления внутри цилиндра. Трудность контроля этого параметра заключается в том, что чувствительный элемент датчика непосредственно соприкасается с рабочим телом, находящимся внутри цилиндра двигателя, и соответственно подвергается ряду физических и химических воздействий (коррозия, эрозия, высокая температура, высокое давление и т.д.). В настоящее время датчики, способные длительно и надежно работать в таких условиях, практически отсутствуют. Поэтому информация, необходимая для управления рабочим процессом в СДВС, собирается косвенным путем.

В условиях ужесточения требований к экологической безопасности и проблемы снижения расхода топлива при эксплуатации СДВС возникает необходимость использования узкоспециализированного датчика для получения первичной информации о характере протекания рабочего процесса двигателя. Такие датчики позволяют решить задачу формирования наиболее эффективного алгоритма управления двигателем путем установления адекватной обратной связи между системой управления и управляемым объектом (в рассматриваемом случае двигателем внутреннего сгорания).

**Цель данной статьи** состоит в обосновании выбора типа и конструкции амплитудного оптоволоконного датчика для систем управления двигателем, способного в течение длительного времени работать в условиях характерных для цилиндра двигателя, с удовлетворительной для поставленной задачи точностью.

**Анализ литературных источников.** Для исследования различных процессов в СДВС наибольшее распространение получили диафрагменные датчики, применяющиеся при измерениях как статических, так и динамических давлений. Теоретическая база этих датчиков достаточно хорошо рассмотрена в работах [1, 2]. Для преобразования измерительного сигнала в электрический традиционно используются тензометрические, индуктивные, емкостные и пьезоэлектрические преобразователи [2]. Альтернативой подобному подходу является использование оптоволоконных преобразователей, в которых измеряемый параметр преобразуется сначала в оптический, а затем в электрический сигнал [3, 4, 5].

Амплитудные оптоволоконные датчики давления (ОВДД) имеют определенные преимущества перед существующими тензорезистивными, индуктивными и емкостными такие, как нечувствительность к электромагнитным полям, вибрации, агрессивным средам, пожаро-, взрыво-, электробезопасность. Это обусловлено их принципом действия, заключающимся в перераспределении светового потока между подводящими

и отводящими свет оптическими волокнами из-за перемещения под действием давления деформируемого зеркала. Это зеркало, играющее роль чувствительного элемента ОВДД, может быть изготовлено из материалов и с помощью методов, применяющихся при изготовлении изделий микроэлектроники. Материалы и методы в настоящее время хорошо отработаны, что позволяет получать совершенные конструкции датчиков при минимуме затрат на разработку, а прогресс в материаловедении и технологии позволяет надеяться на применение оптических волокон в интегральном исполнении.

Результаты измерений, полученных с помощью амплитудных оптоволоконных датчиков просто анализировать, в том числе с помощью средств вычислительной техники.

Одной из простейших конструкций амплитудного датчика является схема, где перемещение диафрагмы моделирует интенсивность отраженной световой волны [7, 8, 9].

В существующей литературе имеется мало сведений о проектировании амплитудных ОВДД как об универсальной последовательности операций, позволяющей разработать конструкцию, удовлетворяющую требованиям к датчикам непрерывного действия для заданных условий работы. Имеющиеся сведения носят оценочный характер или относятся к конкретным приборам, из чего не ясно, как повлияет изменение в конструкции ОВДД на его метрологические и эксплуатационные характеристики [1–5]. В данной работе рассматриваются основные этапы проектирования амплитудных оптоволоконных датчиков давления.

**Решение проблемы.** Принцип действия амплитудных ОВДД рефлектометрического типа заключается в изменении интенсивности потока оптического излучения при отражении его от перемещающейся под действием давления упругой мембраны. Поэтому при проектировании амплитудных ОВДД исходят из анализа перемещения мембраны относительно неподвижных оптических волокон, в отличие от тензорезистивных датчиков, при проектировании которых важно учитывать изменение механических напряжений в упругих элементах или изменение емкости конденсатора с подвижной обкладкой в емкостных датчиках.

При изготовлении мембран часто применяются прецизионные сплавы, для которых имеются отработанные технологии обработки поверхности и формирования трехмерных структур. Учитывая область применения чувствительного элемента датчика для рассматриваемой области применения, для изготовления мембран наиболее целесообразно использовать легированную сталь 36ХНТЮ.

В рамках данного исследования рассматривался амплитудный ОВДД отражательного типа, предел намерений которого составляет от 0...30 МПа. Моделирование осуществлялось методом конечных элементов в среде SolidWorks, которая последнее время получила широкое распространение для моделирования датчиков и их элементов.

Конструкция датчика (рис. 1) состоит из нескольких частей. Через соединительный канал корпуса датчика (4) рабочее тело воздействует на мембрану (7), размещенную в корпусе (4), который имеет резьбовое соединение для крепления втулки (5) для прижима мембраны. Для стабилизации температурного режима датчика предусмотрена полость циркуляции охлаждающей жидкости в рубашке (6). В световой головке (2) располагается оптоволоконный жгут, по которому к мембране подводится оптический сигнал от полупроводникового светоизлучателя, и снимается отраженный сигнал с помощью светоприемника, который так же расположен в световой головке (2).

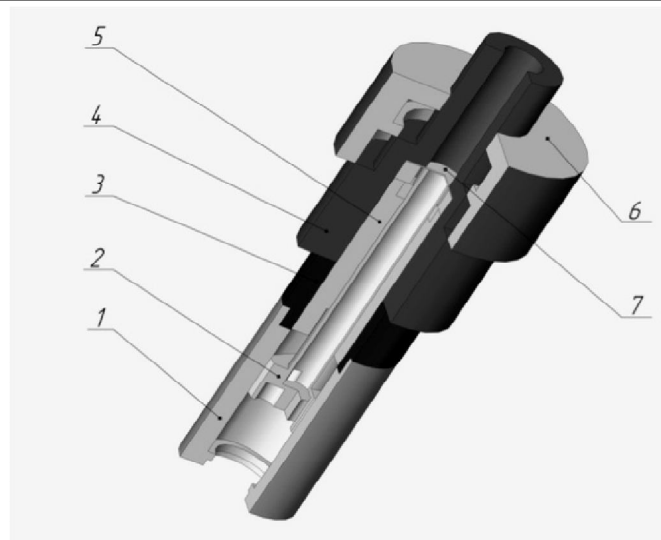


Рисунок 1 – Трехмерная модель амплитудного ОВДД отражательного типа:  
1 – кожух; 2 – световая головка; 3 – стакан; 4 – корпус; 5 – втулка; 6 – рубашка; 7 – мембрана

Принципиальная схема датчика показана на рис. 2. Чувствительным элементом является плоская диафрагма (6), защемленная между двух половин корпуса (1). Для снятия и преобразования измерительного сигнала используется оптоволоконная головка, состоящая из корпуса (2) и раздвоенного оптоволоконного жгута (5). На торцах раздвоенной части жгута располагаются светоизлучатель (3) и фотоприемник (4). Противоположный конец жгута устанавливается на некотором удалении от диафрагмы. Волокна, по которым подводится свет и отводится отраженный сигнал по торцевой поверхности жгута, распределяются равномерно [4].

При прогибе мембраны угол отражения света от ее поверхности изменяется, в результате чего часть света рассеивается, не попадая в фотоприемные волокна. В результате мощность светового потока, воздействующего на светочувствительный элемент, уменьшается пропорционально величине прогиба диафрагмы [4].

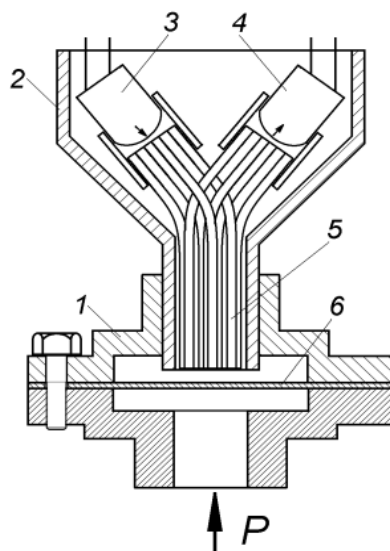


Рисунок 2 – Общая схема оптоволоконного датчика давления

Одна из основных задач, которая решалась при проектировании мембраны, – получить ее упругую характеристику максимально близкой к линейной. Очевидно, чем меньше нелинейность, тем проще и дешевле регистрирующая электронная часть датчика, обрабатывающая сигнал.

Одним из важных параметров, влияющих на напряженно-деформированное

состояние мембраны, является величина силы натяжки. В соответствии с проводимыми ранее исследованиями, ниже приводится график зависимости оптического зазора от величины натяжки мембраны.

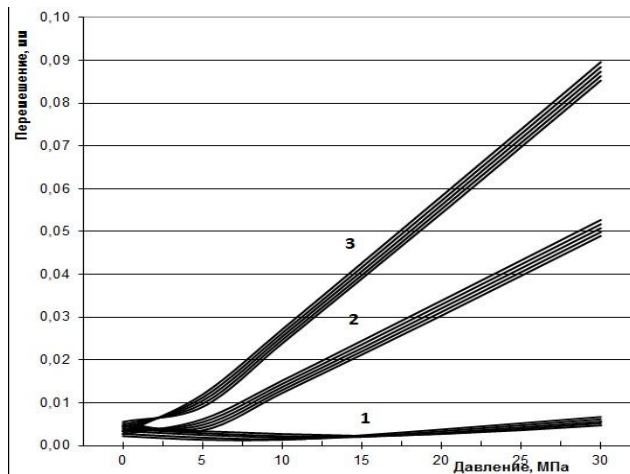


Рисунок 3 – График изменения оптического зазора от величины натяжки для расчетных точек:  
1 – семейство кривых для расчетной точки 1; 2 – семейство кривых для расчетной точки 25;  
3 – семейство кривых для расчетной точки 51

Из графика на рис. 3 видно, что изменение оптического зазора в окрестностях расчетной точки 5 (0,495 мм) носит нелинейный характер, что можно объяснить наличием в этой зоне (по периферии мембраны) напряженного состояния, возникающего вследствие натяжки мембраны.

В окрестностях точек 25 (2,475 мм) и 51 (5,049 мм) наличие деформированного состояния приводит к тому, что в диапазоне измерения давления от 0 МПа до 5 МПа для точки 51 и от 0 МПа до 8 МПа для точки 25 изменение оптического зазора носит нелинейный характер. Причем величина нелинейности усиливается с увеличением силы натяжки мембраны.

Исходя из проведенного исследования следует, что натяжку необходимо минимизировать, однако, не нарушая герметичности датчика. Возможно применение чувствительного элемента (ЧЭ) в виде стакана, однако это очень сложно с точки зрения технологического процесса изготовления. Более простым способом является использование ЧЭ в виде мембраны с тарированной натяжкой и использованием различного рода уплотнений (прецизионное прилегание плоскостей, применение высокотемпературного герметика и т.д.).

Следующим важным фактором при проектировании ОВДД является технология создания оптоволоконной головки.

Тип, размеры, количество оптических волокон (ОВ), их взаимное расположение в торцах ОВ кабеля, изгибы кабеля существенно влияют на метрологические характеристики ОВДД.

Коаксиальное расположение ОВ в жгуте получило наибольшее распространение как наиболее простое по технологии изготовления. Одновременно оно наиболее целесообразно с точки зрения управления световым потоком. Изменение взаимного расположения излучающих ОВ (ИОВ) и приемных ОВ (ПОВ) в жгуте ОВ кабеля дает возможность изменять глубину модуляции оптического сигнала и чувствительность преобразования ОВД.

На рис. 4 приведены варианты взаимного расположения ИОВ и ПОВ в общем торце ОВ кабеля.

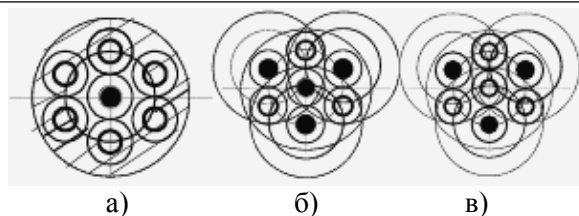


Рисунок 4 – Взаимное расположение излучающих и приемных волокон в общем торце ОВ кабеля ОВД отражательного типа

Дана оценка эффективности каждой из возможных схем расположения ОВ, для чего принят ряд допущений: мощность отраженного светового потока  $P_{пр}$ , поступающего в каждое ПОВ от каждого ИОВ, принимается за условную единицу, т.е.  $P_{пр}=1$ ; мощности излучения любого ИОВ равны между собой; диаграмма распределения светового потока на торце любого ИОВ симметричная и равномерная. Тогда:

$$\Sigma P_{пр} = \Sigma n P_{пр},$$

где  $n$  – количество ОВ.

1. Для первой схемы (рис. 4а):  $\Sigma P_{пр} = 6 \times 1 = 6$  у. е.
2. Для второй схемы (рис. 4б):  $\Sigma P_{пр} = 3 \times 3 = 9$  у. е.
3. Для третьей схемы (рис. 4в):  $\Sigma P_{пр} = 3 \times 2 + 1 \times 3 = 9$  у. е.

Таким образом, при одном и том же количестве ОВ в жгуте, равном семи, эффективность варианта б и в в 1,5 раза выше варианта а. Именно такое расположение волокон в общем торце ОВ кабеля обеспечивает максимальную чувствительность преобразования и выходную мощность оптического сигнала, так как каждое из ПОВ дает максимальный вклад в отклик приемника излучения.

Немаловажная проблема, которая возникает при проектировании, – выбор места для штатного крепления датчика. В настоящее время единственным местом установки может быть индикаторный кран. Однако он выполняет неотъемлемые функции при эксплуатации СДВС (продувка, вентиляция цилиндров и т.д.), исключить которые из процесса эксплуатации нельзя.

Эту проблему можно решить с помощью применения специальных переходников, как показано на рис. 5.

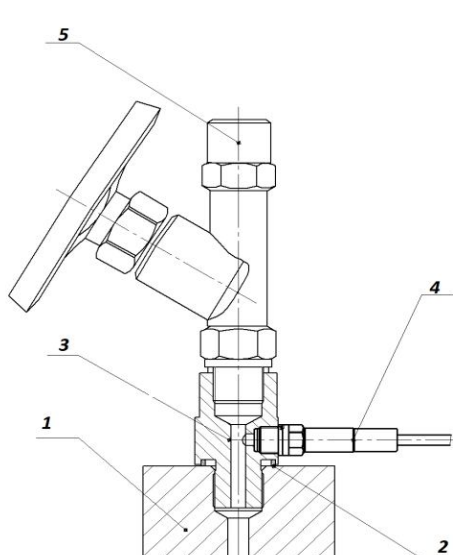


Рисунок 5 – Вариант установки ОВД давления на индикаторный кран СДВС: 1 – корпус; 2 – прокладка; 3 – переходник; 4 – датчик давления; 5 – кран индикаторный

Данное крепление можно использовать во время проведения исследований. Впоследствии для применения данного датчика давления возможна проектировка специального штуцера в крышке цилиндра СДВС для штатного подключения.

### Выводы

1. Для мониторинга характера изменения давления рабочей среды в цилиндре СДВС в реальном времени наиболее простым и экономически эффективным является применение амплитудных ОВД рефлектометрического типа.
2. На метрологические характеристики датчика влияет значительное число параметров таких, как длина, удельные потери, форма и геометрические размеры волокон, величина силы натяжки мембраны, взаимное линейное и угловое расположение излучающих и приемных волокон; два последних фактора оказывают наибольшее влияние.
3. Наиболее существенный вклад в погрешности измерения, обусловленные изменениями температуры окружающей среды, из всей схемы электронной обработки вносят полупроводниковые приборы, используемые как источники и приемники оптического излучения. Для устранения данной погрешности в конструкцию датчика включена схема термостабилизации.
4. Проблему выбора штатного крепления датчика можно решить с помощью применения специальных переходников, установленных на индикаторном кране.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бусурин В. И. Волоконно-оптические датчики : физические основы расчета и применения / В. И. Бусурин, Ю. Р. Носов. – М. : Энергоатомиздат, 1990.
2. Окоси Т. Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси. – Л. : Энергоатомиздат, 1990.
3. Зак Е. А. Волоконно-оптические преобразователи с внешней модуляцией / Е. А. Зак. – М. : Энергоатомиздат, 1989.
4. Белоусов Е. В. Опыт создания оптоволоконных датчиков для индицирования рабочего процесса двигателей / Е. В. Белоусов, В. П. Савчук, А. Д. Штанько // Грузовик & : Строительно-дорожные машины, автобус, троллейбус, трамвай. – М. : Машиностроение, № 12. – 2007.
5. Vaganov V. I. Construction problems in sensors // Sensors and actuators. – 1991. – А. 28. – Р. 161-172.
6. Зак Е. А. Особенности проектирования рефлектометрических ВОД перемещений / Е. А. Зак, А. Л. Тув // Измерительная техника. – 1997. – № 1. – С. 28-30.
7. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах / В. С. Гутников. – Л. : Энергоатомиздат, 1988.
8. Бялик А. Д. Особенности преобразовательных характеристик амплитудных волоконно-оптических датчиков давления рефлектометрического типа / А. Д. Бялик // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – № 1 – С. 338-341.
9. Бурков В. Д. Дифференциальные волоконно-оптические датчики давления отражательного типа / В. Д. Бурков, Л. Н. Коломиец // Сб. докладов НТК профессорско-преподавательского состава и аспирантов МГУЛ [Москва, 30 января–1 февраля 2007]. – С. 42.

### REFERENCES

1. Busurin V. I. Volokonno-opticheskie datchiki : fizicheskie osnovih rascheta i primeneniya / V. I. Busurin, Yu. R. Nosov. – M. : Ehnergoatomizdat, 1990.
2. Okosi T. Volokonno-opticheskie datchiki / T. Okosi. – L. : Ehnergoatomizdat, 1990.
3. Zak E. A. Volokonno-opticheskie preobrazovateli s vneshneyj modulyaciey / E. A. Zak. – M. : Ehnergoatomizdat, 1989.
4. Belousov E. V. Opiht sozdaniya optovolokonnikhkh datchikov dlya indicirovaniya rabocheho processa dvigateleyj / E. V. Belousov, V. P. Savchuk, A. D. Shtanjko // Gruzovik & : Stroiteljno-dorozhnihe mashin, avtobus, trolleyjbus, tramvaj. – M. : Mashinostroenie, № 12. – 2007.

5. Vaganov V. I. Construction problems in sensors // Sensors and actuators. – 1991. – A. 28. – P. 161-172.
6. Zak E. A. Osobennosti proektirovaniya reflektometricheskikh VOD peremetheniy / E. A. Zak, A. L. Tuv // Izmeritel'naya tekhnika. – 1997. – № 1. – S. 28-30.
7. Gutnikov V. S. Integral'naya ehlektronika v izmeritel'nykh ustroystvakh / V. S. Gutnikov. – L. : Ehnergoatomizdat, 1988.
8. Byalik A. D. Osobennosti preobrazovatel'nykh kharakteristik amplitudnykh volokonno-opticheskikh datchikov davleniya reflektometricheskogo tipa / A. D. Byalik // Nauchnye problemy transporta Sibiri i dal'nego vostoka. – 2009. – № 1 – S. 338-341.
9. Burkov V. D. Differentsial'nye volokonno-opticheskie datchiki davleniya otrazhatelnogo tipa / V. D. Burkov, L. N. Kolomiec // Sb. dokladov NTK professorsko-prepodavatel'skogo sostava i aspirantov MGUL [Moskva, 30 yanvarya–1 fevralya 2007]. – S. 42.

**Худяков І.В., Білоусов Є.В., Савчук В.П. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ АМПЛІТУДНИХ ОПТОВОЛОКОННИХ ДАТЧИКІВ**

*Обґрунтовується вибір типу і конструктивні особливості датчика для контролю за характером протікання робочого процесу, здатного впродовж тривалого часу працювати в характерних умовах з точністю, необхідною для ефективного функціонування систем управління двигуном. Виявлений ряд переваг амплітудних оптоволоконних датчиків тиску перед існуючими тензорезистивними, індуктивними і ємнісними. Ці переваги обумовлені їх принципом дії. Встановлено, що на метрологічні характеристики датчика понад усе впливає величина сили затягування мембрани і взаємне лінійне і кутове розташування випромінюючих і приймальних волокон.*

**Ключові слова:** амплітудний оптоволоконний датчик тиску відбивного типу, оптоволоконна голівка, індикаторний кран, мембрана.

**Khudiakov I.V., Belousov Ye.V., Savshuk V.P. SPECIFICS OF FIBER OPTIC AMPLITUDE SENSORS DESIGNING**

*Substantiates the choice of type and design features of the sensor for control of character of the workflow that can run for a long time in specific terms of accuracy necessary for the efficient operation of engine control system. Discovered several advantages of amplitude fiber optic pressure sensors over existing tensor resistive, inductive and capacitive. These advantages due to their principle of operation. It was discovered that the metrological characteristics of the sensor over all affect the tightening force of membrane and mutual linear and angular arrangement emitting and receiving fibers.*

**Keywords:** amplitude fiber optic pressure sensor of the reflective type, fiber optic head, indicator valve, membrane.

© Худяков І.В., Білоусов Є.В., Савчук В.П.

Статтю прийнято  
до редакції 16.03.15

*ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ*

## ОСОБЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ І ВИЗНАЧЕННЯ СТАТУСУ НЕСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В УМОВАХ ITS

*Волков В.П., Грицук І.В., Волков Ю.В.*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет,*

*Грицук Ю.В.*

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури*

*У статті представлений підхід до формування системи дистанційного моніторингу, діагностики, прогнозування технічного стану та визначення статусу несправностей транспортного засобу в складі бортового інформаційного програмно-діагностичного комплексу, який працює у взаємодії з віртуальним підприємством в умовах ITS. Система дозволяє на основі інформаційних і апаратно-програмних можливостей конкретної системи управління враховувати дорожні та експлуатаційні умови руху ТЗ в оперативному режимі. Для визначення статусу несправностей ТЗ створений механізм, який використовує інформаційний обмін в процесі дистанційного моніторингу як в ручному і напівавтоматичному, так і в автоматичному режимі.*

**Ключові слова:** транспортний засіб, моніторинг параметрів, діагностування, прогнозування, технічний стан, несправність, статус, інформаційна транспортна система.

**Вступ.** Для організації ТО і Р з урахуванням стану ТЗ наприкінці 1990-х р. р. у США й країнах ЄС були прийняті стандарти, які ввели обов'язковість оснащення транспортних засобів (ТЗ) електронними системами контролю параметрів роботи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), пов'язаних зі зміною складу відпрацьованих газів (емісії) [1, 2]. У США з 1996 р. усі легкові автомобілі і легкі вантажівки обладнають бортовою діагностикою OBD-II (On-Board Diagnostics II), яка використовує діагностичні коди несправностей (або помилок) (Diagnostic Trouble Codes - DTCs), що й дозволяє зчитувати DTCs, переглядати параметри роботи двигуна й інших електронних систем ДВЗ і ТЗ. Аналогічний європейський стандарт – EOBD, був прийнятий в 2001 р. [1, 2]. У рамках OBD-II стандартизовані діагностичні рознімання, протоколи обміну даними й частково стандартизовані DTCs, при обміні даними в OBD-II, в основному використовують протоколи ISO 9141, ISO 14230, SAE J1850 VPW, SAE J1850 PWM і CAN, тощо [1, 2].

Системи моніторингу технічного стану в умовах ITS дозволяють здійснювати безперервний автоматичний контроль технічних параметрів ТЗ і його складових елементів, розпізнавати відмовні стани і запобігати їх розвитку, а також здійснювати перехід до організації системи ТО і Р за технічним станом [2–4]. Як правило, такі системи являють собою складний комплекс бортових і стаціонарних технічних і програмних засобів. Розробка системи моніторингу технічного стану в автономному виконанні вимагає значних інтелектуальних, часових і матеріальних ресурсів, а оснащення нею кожного окремо взятого ТЗ спричиняє фінансові витрати на установку не тільки бортових діагностичних датчиків, але і пристроїв обробки інформації, зв'язку та сигналізації відмовних станів.

Найбільш ефективною і найменш витратною комбінацією для реалізації інтелектуального моніторингу технічного стану ТЗ є система, що включає в себе поєднання штатного і опційного інформаційно-діагностичного обладнання, яке програмно вбудовано в навігаційно-зв'язковий комплекс і реалізує функції супутникової навігації.

Тому для виконання моніторингу технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ в комплексі обладнання повинні бути об'єднані навігаційно-зв'язкові і діагностичні блоки, які технологічно і програмно пов'язані з розгалуженою мережею штатних і опційних датчиків контролю технічного стану окремих вузлів і систем ТЗ. При цьому взаємодія бортового навігаційного обладнання з основними технологічними складовими системи моніторингу технічного стану ТЗ повинно здійснюватись в рамках єдиної ідеології мобільної інформаційно-діагностичної системи [2–5].

**Актуальність досліджень.** Аналіз технічних рішень, які випускаються сьогодні на ринку, показав, що в більшості з них відсутня можливість повноцінно аналізувати, прогнозувати технічний стан і визначати статус несправностей ТЗ та його складових елементів. Сучасні вимоги до систем управління ТЗ роблять проблему прогнозування технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ актуальною. Для таких систем важливо встановити не тільки те, що ТЗ та його складові елементи справні в даний момент часу (в період контролю), але і те, що вони будуть продовжувати залишатися справними протягом деякого інтервалу часу в майбутньому. З іншого боку, на ринку обладнання присутні системи управління, здатні інсталивати повноцінні операційні системи, але їх використання сьогодні, поки що, проблематично для транспортних двигунів і ТЗ. Зазначені фактори дозволяють створення автоматизованої системи моніторингу, діагностування, прогнозування значень параметрів технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ та його складових елементів в умовах *ITS*, заснованої на технології баз даних (БД), із застосуванням систем управління базами даних (СУБД). Виробники ТЗ і розробники систем моніторингу при вирішенні викладених задач технічної експлуатації (ТЕ) ТЗ реалізують системи комунікацій між транспортним засобом і видаленим комп'ютером [3, 4, 6]. У світі (наприклад, МадГТУ (МАДІ), Російська федерація) розробляються системи визначення статусів несправностей в телематичній системі контролю технічного стану ТЗ в реальному часі [3, 4, 6].

У цьому напрямку проводяться дослідження на кафедрі «Технічна експлуатація і сервіс автомобілів» ХНАДУ, де було розроблено відповідне програмне забезпечення інтелектуальних програмних комплексів (ІПК) на основі віртуального підприємства з ТЕ автомобільного транспорту «ХНАДУ–ТЕСА», що забезпечило формування систем моніторингу для отримання технічної інформації про окремі ТЗ, дослідження діагностичних параметрів і визначення роботоздатності ТЗ при їх експлуатації в умовах інформаційних можливостей *ITS* [2].

**Постановка задачі.** Для створення автоматизованої системи моніторингу, діагностування, прогнозування технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ у складі бортових інформаційних програмно-діагностичних комплексів (БПДК), що працюють в межах віртуального підприємства в умовах *ITS*, з урахуванням дорожніх і експлуатаційних умов в оперативному режимі доцільно вирішити завдання, пов'язані з інформаційними і апаратно-програмними можливостями конкретної системи управління ТЗ та його складових елементів. А для визначення статусу несправностей ТЗ у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу в оперативному режимі доцільно створити механізм, що використовує інформаційний обмін в процесі дистанційного моніторингу і визначення статусу несправностей ТЗ, які працюють в умовах *ITS*, а саме: безпосередньо на борту ТЗ з використанням БПДК без взаємодії з підприємством з експлуатації автомобільного транспорту (АТ); в напівавтоматичному режимі на борту ТЗ з використанням БПДК із взаємодією з підприємством з експлуатації АТ; в автоматичному режимі з використанням БПДК із взаємодією з підприємством з експлуатації АТ.

**Результати досліджень.** В інформаційній системі моніторингу, діагностування, прогнозування технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ в умовах *ITS* формування та передача інформації відбувається на основі роботи мікроконтролерів системи керування транспортного засобу, оснащеного широким арсеналом комунікаційних розширень, що дозволяють збирати дані датчиків ДВЗ і ТЗ, частково обробляти результати вимірювань, видавати діагностичні повідомлення і передавати інформацію через порти OBD-II [7–11].

Для створення автоматизованої системи моніторингу, діагностування, прогнозування технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ у складі бортових інформаційно-діагностичних комплексів, що працюють в умовах *ITS*, з урахуванням дорожніх і експлуатаційних умов в оперативному режимі потрібно вирішити кілька

завдань, пов'язаних з інформаційними і апаратно-програмними можливостями мікропроцесорної системи управління ДВЗ і ТЗ при їх роботі в межах віртуального підприємства [2, 7–11].

Для досягнення поставленої мети авторами розроблений БІПДК, який може бути успішно інтегрований у будь-яку *ITS*, тобто він здатний вирішувати її традиційні завдання. Однак його основне призначення – діагностування і контроль параметрів робочих процесів ДВЗ і ТЗ в умовах експлуатації [1, 2, 5, 7] за допомогою бортової діагностики OBD-II. Технічними засобами комплексу є: діагностичний сканер, планшет (мобільний телефон (смартфон)), що встановлені в кабіні водія (машиніста) з наявністю необхідного програмного забезпечення.

За допомогою адаптера (сканера) *OBD-II* (або контролера сканера-комунікатора (трекера)), який підключений одночасно до лінії системи стандарту *OBD-II* ТЗ і до спряженого пристрою БІПДК за допомогою *USB*, або *Wi-Fi*, або *Bluetooth*, через *GPS*, *a-GPS*, *ГЛОНАСС*, *SBAS*, *GPRS*, *Internet* або локальну мережу, відбувається з'єднання з *Web*-сервером, базою даних і необхідним програмним забезпеченням інформаційної системи моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану транспортного засобу в умовах *ITS* [1, 2, 7]. Таким чином оперативна інформація, отримана з (через) *Internet*, *GPS*, *ГЛОНАСС*, *SBAS* і (або) *GPRS*, від ДВЗ і ТЗ поступає на автоматизоване робоче місце внутрішньої мережі. Наявність сенсорного екрана у БІПДК надає водієві ТЗ і розробнику системи управління можливість створення зручних людино-машинних інтерфейсів нового покоління, максимально полегшують і спрощують працю оператора робочого місця внутрішньої мережі, що скорочують витрати на його професійну підготовку [12].

У межах описаного БІПДК і віртуального підприємства [2, 12] інформаційне забезпечення системи моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану транспортного засобу в умовах *ITS* може мати структуру, що представлена на рис. 1.

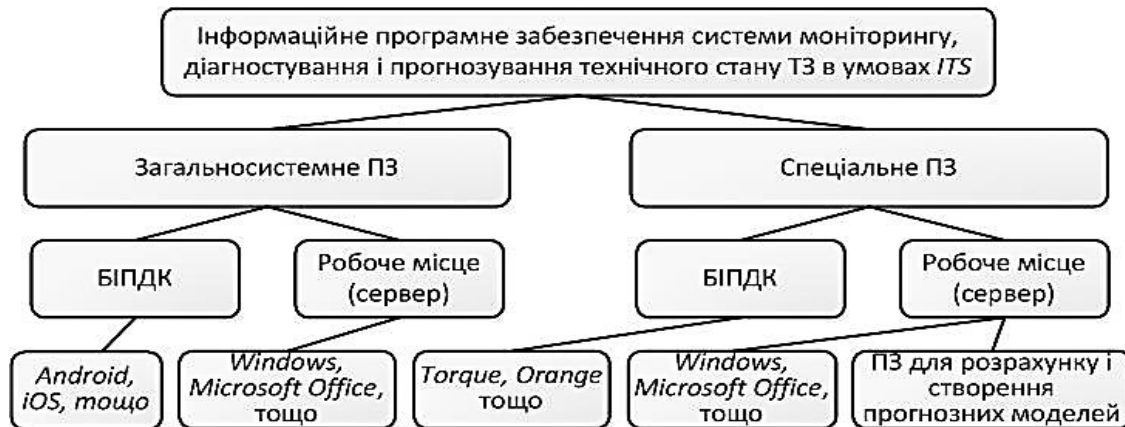


Рисунок 1 – Структура інформаційного забезпечення системи моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану ТЗ в умовах *ITS*

Інформаційне забезпечення системи моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану транспортного засобу в умовах *ITS* складається з двох основних частин і має адресну спрямованість, а саме програмного забезпечення загального призначення і спеціального програмного забезпечення, яке являє собою програмний код, що виконує збір, зберігання та обробку інформації ДВЗ і ТЗ [2, 12]. Програмна спрямованість ПЗ відноситься безпосередньо до БІПДК і до робочого місця внутрішньої мережі або сервера. Згідно з вимогами до ПЗ і інформаційної системи [2, 12], вона реалізує вирішення таких задач: збирання даних з ДВЗ і ТЗ; зберігання даних у файлі БД; побудова функціональних залежностей у часі; побудова прогнозу технічного стану ДВЗ і ТЗ за визначеними параметрами.

Прикладне ПЗ, у відповідності до вирішуваних завдань, було розроблено у вигляді ППК «MonDiaFor» (*monitoring, diagnosis, forecasting technical condition of the vehicle under ITS*) «HADI-15» і складається з таких елементів, як підсистема, що реалізує графічний інтерфейс користувача, підсистеми обробки даних і структурована інформаційна модель якого показана на рис. 2. При виконанні первинної обробки отриманих з ТЗ даних послідовно відбувається виконання операції конвертації отриманих табличних даних до стандартного вигляду і передача їх до інформаційної системи моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану транспортного засобу в умовах ITS.

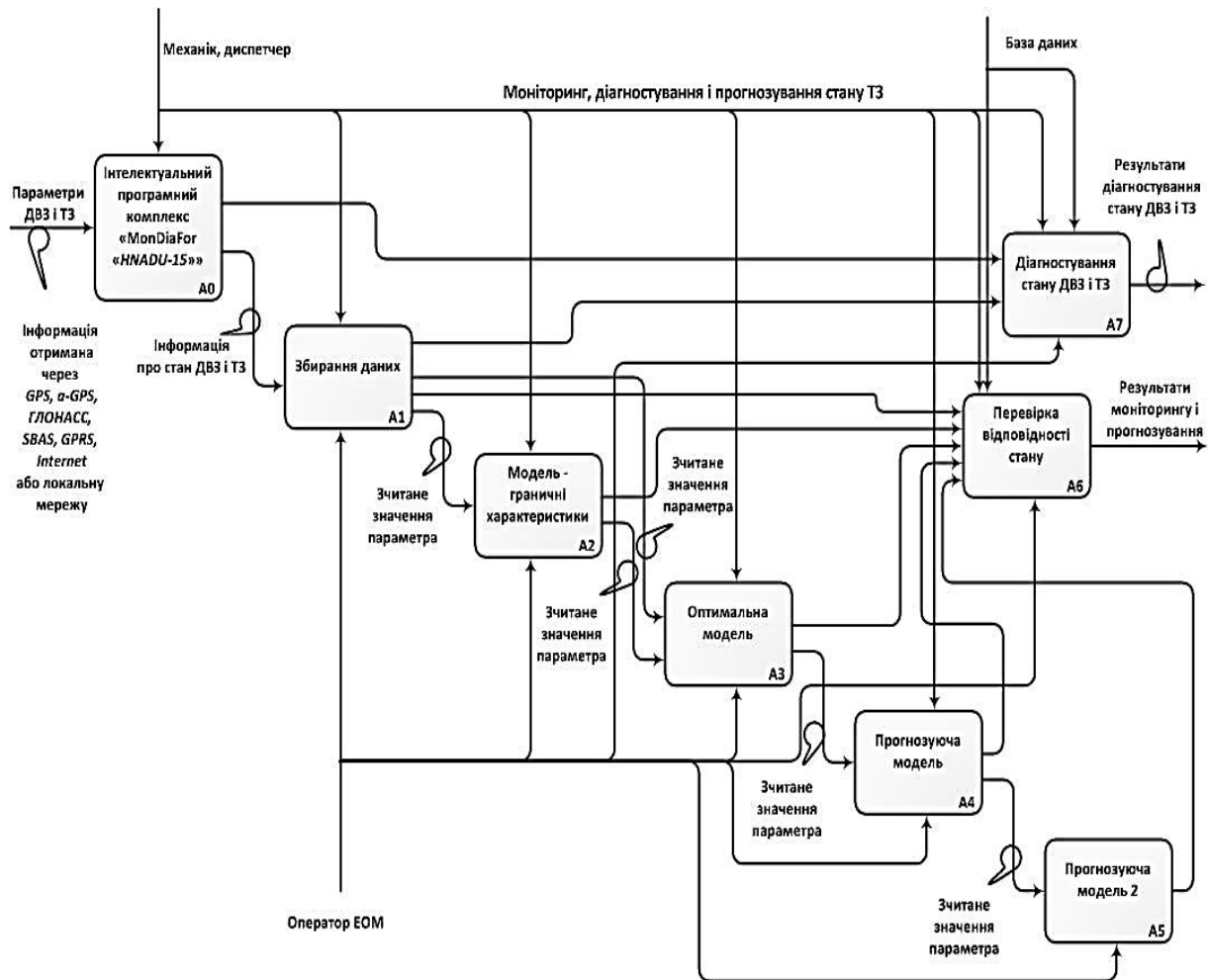


Рисунок 2 – Структурована інформаційна модель ІПК «MonDiaFor «HADI-15»»

Кожен параметр ДВЗ і ТЗ є кількісним виразом тих фізичних процесів, які протікають у ньому. Однак, для більшості елементів і приладів функціональну залежність параметра від вказаних процесів практично неможливо визначити у зв'язку з їх складністю. Якщо ж процеси в часі приймають і носять стійкий характер, то на закономірності зміни параметра це позначиться певним чином [2, 12].

При побудові системи моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану ТЗ в умовах *ITS* виконуються відповідні етапи роботи, а саме: визначення цілі прогнозування контрольованих параметрів ДВЗ і ТЗ; визначення горизонтів прогнозу; вибір однієї або декількох кривих, форма яких відповідає характеру зміни часового ряду; оцінка параметрів обраних кривих; перевірка адекватності обраних кривих прогнозованого процесу і остаточний вибір кривої; розрахунок прогнозу у відповідному інтервалі часу; оцінка точності прогнозування та наявність автокореляції випадкової складової [2, 12].

Метою прогнозування параметрів ДВЗ і ТЗ є дослідження динаміки і виявлення виходів за допустимі межі значень контрольованих параметрів у майбутньому.

В залежності від того, в якому режимі працює ДВЗ і ТЗ, обирається горизонт для прогнозу. У разі, якщо ДВЗ і ТЗ працює в складних експлуатаційних режимах, дуже важливо прогнозувати значення параметрів на короткі терміни. У випадку роботи ДВЗ і ТЗ в періодичному режимі необхідно забезпечити отримання вимірювань не менше одного разу протягом одного включення.

При вирішенні завдань прогнозування параметрів в часі, що мало змінюються (саме такими параметрами є основні параметри ДВЗ і ТЗ, що мають високий ступінь відмовостійкості та надійності), застосовуються дослідні однопараметричні методи статистичного моделювання [4].

Крім описаних вище можливостей, система моніторингу, діагностування, прогнозування технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ у поєднанні з бортовим інформаційно-діагностичним комплексом має можливість здійснювати моніторинг і визначення несправностей ТЗ (рис. 2). У складі бортового БПДК моніторинг і визначення статусу несправностей ТЗ можуть існувати три основні варіанти, що показані на рис. 3.

Моніторинг і визначення статусу несправностей безпосередньо на борту ТЗ з використанням БПДК без взаємодії водія ТЗ з віртуальним підприємством з експлуатації автомобільного транспорту виконується за блок-схемою на рис. 3а. У цьому випадку моніторинг реалізується за допомогою бортового БПДК, який представлений планшетом (смартфоном) зі встановленим відповідним програмним забезпеченням.

Первинним сигналом для виконання моніторингу і визначення статусу несправностей на борту ТЗ є поява сигналу на щитку приладів. Для цього в ТЗ, оснащених *OBD-II*, на щитку приладів встановлена контрольна лампа з текстом «Service Engine Soon» або «Check Engine», яка відома фахівцям під загальною назвою МП, що означає Malfunction Indicator Lamp (тобто буквально – контрольна лампа несправності) [2, 10, 11], або контрольною лампою системи управління двигуном. Включення лампи не говорить про необхідність негайного обслуговування. Деякі діагностичні коди несправності генеруються і зберігаються в пам'яті блока управління і без загорання контрольної лампи. Інші проблеми, що потребують уваги, ініціюють включення контрольної лампи. Загорання лампи говорить про необхідність підключення пристрою зчитування кодів несправності, щоб побачити, який код був генерований або необхідності звернення на станцію технічного обслуговування (СТО). Іноді контрольна лампа загорається і через деякий час гасне (іноді це відбувається при наступній поїздки), створюючи враження про те, що несправність пропала. Якщо проблеми більше немає, то в блоці управління все одно зберігаються відомості про такі періодичні виявлені несправності, що може допомогти водію або механіку пізніше.

Отримавши кодовану інформацію від штатних систем вбудованого контролю через адаптер (сканер) *OBD-II* за допомогою *USB* або *Wi-Fi*, або *Bluetooth*, БПДК виробляє за допомогою опціональних пристроїв і алгоритмів власного програмного забезпечення, ідентифікацію кодів і формування масиву «діагностичних повідомлень». Ідентифікація кодів має на меті розпізнавання станів ТЗ, небезпечних для подальшого продовження роботи, що в першу чергу, створюють загрозу ДТП, дорогого ремонту, втрати дилерської гарантії та інших несприятливих наслідків. Після цього водій має змогу, або усунути несправність відразу на місці, або рухатися до найближчої СТО для усунення несправності там, або зупинити ТЗ і викликати сервісні служби (евакуатор, іншу техніку або ТЗ на підміну).

Моніторинг і визначення статусу несправностей в напівавтоматичному режимі на борту ТЗ з використанням БПДК із взаємодією з віртуальним підприємством з експлуатації АТ виконується водієм ТЗ при дистанційному контакті з учасниками процесу контролю за станом ТЗ на автоматизованому робочому місці внутрішньої мережі за блок-схемою на рис. 3б. У цьому випадку поставлена задача вирішується за допомогою бортового БПДК при передачі отриманої від ДВЗ ТЗ інформації через *GPS*, *a-GPS*,

ГЛОНАСС, SBAS, GPRS, Internet або локальну мережу в Web-сервер, у базу даних і, в залежності від поставленої задачі в процесі дослідження роботи двигуна ТЗ – на автоматизоване робоче місце внутрішньої мережі.

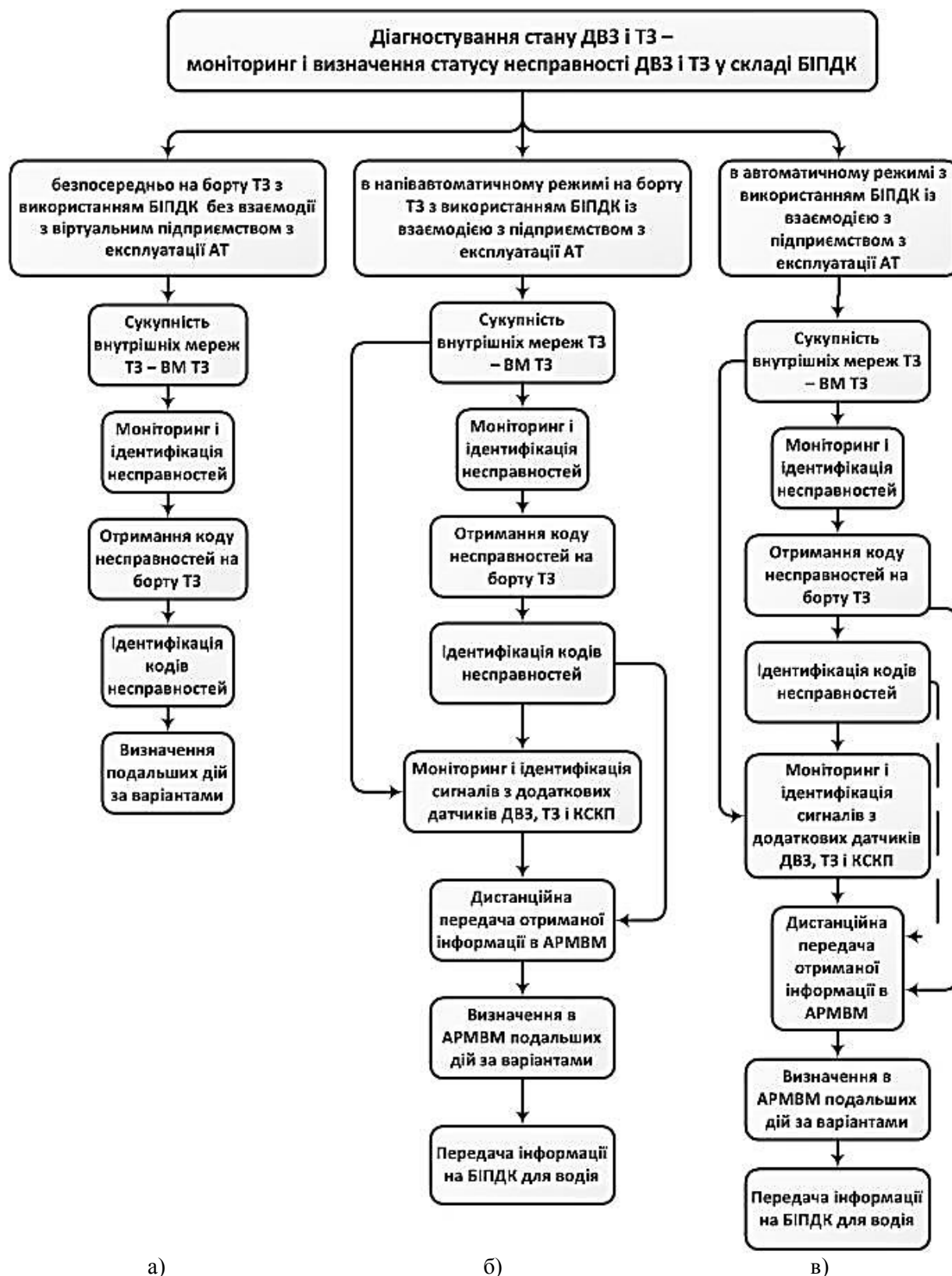


Рисунок 3 – Варіанти моніторингу і визначення статусу несправностей ТЗ у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу в межах роботи ІПК «MonDiaFor «HADI-15»»

Первинним сигналом для виконання моніторингу і визначення статусу несправностей на борту ТЗ є поява сигналу на щитку приладів – загорання контрольної

лампи з текстом «Check Engine». Отримавши кодовану інформацію від штатних систем вбудованого контролю через адаптер (сканер) *OBD-II* за допомогою *USB* або *Wi-Fi*, або *Bluetooth*, БПДК виробляє за допомогою опційних пристроїв і алгоритмів власного програмного забезпечення, ідентифікацію кодів і формування масиву «діагностичних повідомлень», який передається через *GPS*, *a-GPS*, *ГЛОНАСС*, *SBAS*, *GPRS*, *Internet* або локальну мережу в *Web*-сервер, у базу даних і на автоматизоване робоче місце внутрішньої мережі (АРМВМ) [10, 11]. На автоматизованому робочому місці приймається сигнал про розпізнавання коду несправності ТЗ і одночасно приймається інформація від контролера сканера-комунікатора (трекера) для зчитування інформації про параметри ДВЗ і ТЗ [10, 11] сукупності ВМ ТЗ з датчиків, що встановлені додатково. На автоматизованому робочому місці зіставляється отримана інформація і приймається рішення про подальшу експлуатацію ТЗ: або усунути несправність відразу на місці, або рухатися до найближчої СТО для усунення несправності там, або зупинити ТЗ і викликати евакуатор (іншу техніку або ТЗ на підміну). Про прийняте рішення передається інформація на БПДК, де виводиться на екран для виконання прийнятого рішення водієм ТЗ. Крім цього, слід зазначити, що в цьому варіанті залишається можливість використовувати досвід і кваліфікацію водія для моніторингу і ідентифікації несправностей ДВЗ і ТЗ.

Моніторинг і визначення статусу несправностей на борту ТЗ з використанням БПДК [2–4, 7, 10–12] у порівнянні з першим варіантом, вирішує наступні завдання: визначення найбільш відповідної СТО в залежності від характеру несправності; вибір місця проведення ремонту: на місці зупинки ТЗ, після транспортування ТЗ на СТО (своїм ходом з урахуванням консультацій фахівця, своїм ходом за умови керування ТЗ співробітником СТО, на буксирі, за допомогою евакуатора тощо); підбір оптимального технологічного ланцюга ремонтних впливів і необхідної виробничо-технічної бази (постів, обладнання, інструменту, оснащення, матеріалів тощо) на основі достовірного розпізнавання характеру несправності; визначення форми оплати виходячи з оперативної ситуації з експлуатації ТЗ; формування, підтримка і постійне поповнення інформаційної бази за всіма формами прояву несправностей і передвідмовних станів ТЗ, що повинно забезпечувати високу достовірність розпізнавання ознак несправностей з урахуванням накопиченого досвіду.

Моніторинг і визначення статусу несправностей в автоматичному режимі з використанням БПДК із взаємодією з підприємством з експлуатації АТ відбувається при дистанційному контакті з учасниками процесу контролю за станом ТЗ на АРМВМ за блок-схемою на рис. 3в. У цьому випадку поставлена задача вирішується за допомогою адаптера (сканера) *OBD-II* для зчитування інформації про параметри ДВЗ і ТЗ [2–4, 7, 10–12] сукупності ВМ ТЗ зі штатних датчиків, що встановлені на ДВЗ і ТЗ через підключення до спряженого пристрою, за допомогою *USB* або *Wi-Fi*, або *Bluetooth* на БПДК, і за допомогою контролера сканера-комунікатора (трекера) для зчитування інформації про параметри ДВЗ і ТЗ [2–4, 7, 10–12] сукупності ВМ ТЗ з датчиків, що встановлені додатково, і передають отриману інформацію через *GPS*, *a-GPS*, *ГЛОНАСС*, *SBAS*, *GPRS*, *Internet* або локальну мережу (в подальшому – зовнішні і локальні мережі) у *Web*-сервер, в базу даних і на автоматизоване робоче місце внутрішньої мережі.

Первинним сигналом для виконання моніторингу і визначення статусу несправностей на борту ТЗ є поява сигналу на щитку приладів – загорання контрольної лампи з текстом «Check Engine». Але розпізнавання несправності на борту ТЗ може відбуватися як додаткова операція. В автоматичному режимі розпізнавання несправності відбувається в автоматизованому робочому місці внутрішньої мережі наступним чином. Якщо код несправності або сигнал від додаткового датчика СП з ТА визнається безпечним, то система виводить необхідну для водія інформацію на дисплей – в даному випадку контрольна лампа з текстом «Check Engine» не загорається. При цьому водій ТЗ може продовжувати рух, а система повертається в режим очікування. Якщо код

визнається небезпечним, то система в АРМВМ повинна оцінити можливість розпізнавання несправності із заданою вірогідністю. Коли така можливість є, слід визначити параметри, необхідні для розпізнавання коду (як правило, вибирається з бази даних експлуатації ТЗ). Оцінивши можливість отримання необхідних параметрів на ТЗ, система в АРМВМ приймає рішення призвести зчитування параметрів. Якщо зчитування неможливе, система формує закодований сигнал для відправки через зовнішні і локальні мережі в *Web*-сервер в АРМВМ. Після отримання необхідних даних відбувається розпізнавання несправності. Розпізнавши несправність, система визначає ступінь її небезпеки.

При цьому небезпека коду несправності і небезпека самої несправності – це не одне і те ж саме. Наприклад, код, який попередньо визнаний системою небезпечним, може говорити про наявність різних несправностей, частина з яких становить небезпеку, а частина – ні. Якщо несправність розпізнана й небезпечна, інформація про це передається в АРМВМ, а водій інформується спеціальним сигналом на дисплеї БІПДК. Якщо АРМВМ потребує додаткової інформації від ТЗ, то через додаткові датчики і трекер вона отримується через зовнішні і локальні мережі в *Web*-сервер. Якщо несправність розпізнана і не небезпечна, то на дисплей водія не виводяться ніякі сигнали, і система повертається в режим очікування.

Отримавши кодовану інформацію від штатних систем вбудованого контролю на борту ТЗ, через адаптер (сканер) *OBD-II* за допомогою *USB* або *Wi-Fi*, або *Bluetooth*, БІПДК (аналогічно попередньому варіанту, але вже як додаткова операція) виробляє за допомогою опційних пристроїв і алгоритмів власного програмного забезпечення ідентифікацію кодів і формування масиву «діагностичних повідомлень», який передається через зовнішні і локальні мережі в *Web*-сервер, в базу даних і на автоматизоване робоче місце внутрішньої мережі (АРМВМ). На автоматизованому робочому місці приймається сигнал про розпізнавання коду несправності ТЗ і одночасно приймається інформація від контролера сканера-комунікатора (трекера) для зчитування інформації про параметри ДВЗ і ТЗ [2–4, 7, 10–12] сукупності ВМ ТЗ з датчиків, що встановлені додатково. На автоматизованому робочому місці співставляється отримана інформація і приймається рішення про подальшу експлуатацію ТЗ: або усунути несправність відразу на місці, або рухатися до найближчої СТО для усунення несправності там, або зупинити ТЗ і викликати евакуатор (іншу техніку або ТЗ на підміну). Про прийняте рішення передається інформація на БІПДК, де виводиться на екран для водія ТЗ.

Моніторинг і визначення статусу несправностей в автоматичному режимі з використанням БІПДК у порівнянні з першим варіантом вирішує аналогічні завдання, що і в другому варіанті. Автоматична взаємодія з АРМВМ (без участі водія) [2–4, 7, 9, 10–12] має ряд переваг: оперативність розпізнавання несправності в кілька разів вище, ніж в перших двох варіантах; висока достовірність розпізнавання завдяки можливості системного порівняння кодів несправностей, що з'являються, з основними поточними показниками роботи елементів і систем ТЗ за допомогою бази даних СТО; мінімізація витрат часу на усунення несправностей за рахунок оперативного резервування виробничо-технічної бази на заздалегідь обраних сервісній станції; суттєва економія фінансових коштів за рахунок високої достовірності та оперативності виявлення несправностей, оптимальної організації ремонтних робіт; повне або часткове звільнення водія від процедури діагностування та відновлення транспортного засобу.

Розробивши і налаштувавши систему моніторингу і визначення статусу несправностей ТЗ, оснащеного системою прогріву, у складі бортового БІПДК у відповідності до розглянутих трьох варіантів можливе визначення великої кількості несправностей як прямо на борту ТЗ, що дозволить скоротити час розпізнавання несправності, скоротити обмін інформацією між бортом ТЗ і АРМВМ і розвантажити серверну частину, так і безпосередньо на АРМВМ. При цьому вибір варіанта

використання, в першу чергу, залежить від кваліфікації і досвіду водія і розвиненості сервісної служби підприємства.

Оптимальна робота системи здійснюється завдяки добре відпрацьованому алгоритму і програмному забезпеченню (ПЗ) щодо взаємодії як в середині БІПДК, так і в загальній мережі взаємодії БІПДК і АРМВМ. Від алгоритму і ПЗ залежить швидкодія системи, достовірність визначення несправності, що дозволяє провести своєчасну і якісну діагностику автомобіля, тим самим запобігти виходу з ладу відповідальних вузлів і агрегатів ТЗ. При цьому розробляти слід два різні окремі алгоритми і ПЗ роботи системи, які працюють як окремо, так і спільно між собою - для бортової частини БІПДК і для взаємодії БІПДК з АРМВМ, кожен з яких вносить свій особистий внесок у загальний результат.

Розпізнавання несправності має займати не більше кількох хвилин, що важливо, якщо йдеться про відмови систем безпеки ТЗ. При цьому водій, побачивши сигнал виникнення несправності, повинен активізувати БІПДК відповідно регламенту його роботи. Оператор АРМВМ, виконавши розпізнавання з підключенням фахівця ремонтної служби, повинен прийняти рішення про характер подальших дій і проінформувати про них водія.

Залежно від виду та ступеня небезпеки несправності, вказівки оператора можуть носити рекомендаційний або обов'язковий характер, виходячи з яких визначається і режим подальшого руху, в тому числі до СТО. Одночасно з цим проводиться навігаційне визначення положення ТЗ [2–4, 7, 9, 10–12] на мапі і орієнтування його щодо придорожньої сервісної інфраструктури з метою вибору найбільш відповідної СТО для усунення виявленої несправності та оптимального маршруту руху до нього. Паралельно з рухом (переміщенням) ТЗ до СТО безпосередньо на сервісі резервується виробничо-технічна база (пости, робочі, інструмент, запасні частини тощо) і опрацьовується технологічний процес відновлювальних, обслуговуючих, регулювальних і контрольно-діагностичних робіт, що дозволить мінімізувати втрати часу на технічні впливи в сервісному центрі.

Перевірка роботоздатності системи підтвердила її спроможність виконувати моніторинг і визначення статусу несправностей ТЗ у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу на основі розробленого віртуального підприємства з експлуатації автомобільного транспорту.

**Висновок.** Запропонований підхід до формування і створення інформаційного забезпечення системи моніторингу, діагностування, прогнозування технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ в умовах *ITS* при роботі в межах віртуального підприємства з експлуатації автомобільного транспорту і розроблена структурована інформаційна модель інформаційного програмного комплексу «MonDiaFor «HADI-15»».

Виконаний моніторинг і визначення статусу несправностей ТЗ у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу на основі розробленого віртуального підприємства з експлуатації автомобільного транспорту і представлені варіанти визначення несправностей ТЗ в процесі експлуатації транспортного засобу в умовах *ITS*.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матейчик В. П. Особливості моніторингу стану транспортних засобів з використанням бортових діагностичних комплексів / В. П. Матейчик, В. П. Волков, П. Б. Комов, І. В. Грицук, А. П. Комов, Ю. В. Волков // Управління проектами, системний аналіз і логістика : науковий журнал – К. : НТУ, 2014. – Випуск 13. – С. 126-138.
2. Волков В. П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем : монография / Под ред. В. П. Волкова / В. П. Волков, В. П. Матейчик, О. Я. Никонов, П. Б. Комов, И. В. Грицук, Ю. В. Волков, Е. А. Комов. – Донецк : Изд-во «Ноулидж», 2013. – 398 с.

3. Ахмедов Т. Н. Основы системы контроля состояния транспортного средства в процессе выполнения перевозок / Т. Н. Ахмедов, С. В. Жанказиев, А. Е. Финкель // Научные аспекты развития транспортно-телематических систем – М. : МАДИ, 2010 – С. 138-164.
4. Ахмедов Т. Н. Принципы определения статусов неисправностей в телематической системе контроля технического состояния автомобиля в реальном времени / Т. Н. Ахмедов // Научные аспекты развития транспортно-телематических систем. – М. : МАДИ, 2010 – С. 165-180.
5. Волков В. П. Організація технічної експлуатації автомобілів в умовах формування інтелектуальних транспортних систем / В. П. Волков, В. П. Матейчик, П. Б. Комов, О. Б. Комов, І. В. Грицук // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2013. – № 29 (1002). – С. 138-144.
6. Hansen P., Wolfe B. Remote Diagnostics – the Next OEM Frontier // The Hansen Report on Automotive Electronics. – Dec. 2003 / Jan. 2004. – Vol. 16, № 10. – P. 1-3.
7. Волков В. П. Особливості моніторингу і визначення статусу несправностей транспортного засобу у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу / В. П. Волков, І. В. Грицук, А. П. Комов, Ю. В. Волков // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2014. – Випуск 30. – С. 51-62.
8. Головин С. Ф. Технический сервис транспортных машин и оборудования / С. Ф. Головин. – М. : Альфа-М : ИНФРА-М, 2008. – 288 с.
9. Матейчик В. П. Особенности электронной идентификации транспортных средств в составе бортовых информационно-диагностических комплексов / В. П. Матейчик, В. П. Волков, П. Б. Комов, І. В. Грицук // Збірник наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. – Донецьк : ДонІЗТ, 2013 – Випуск № 35. – С. 78-82.
10. Хендерсон Б. OBD-II и электронные системы управления двигателем. Руководство / Б. Хендерсон, Дж. Хейнес. – СПб. : Алфамер Паблишинг, 2011 – 248 с.
11. Уве Рокош. Бортовая диагностика. – М. : ООО Издательство «За рулем». – 2013. – 224 с.
12. Технические возможности повышения ресурса автономных электростанций энергетических систем : монография / В. А. Атрощенко, Ю.Д. Шевцов, П. В. Яцынин, Р. А. Дьяченко, М. Н. Педько. – Краснодар : Издательский Дом-Юг, 2010. – 192 с.

## REFERENCES

1. Mateyjchik V. P. Osoblivosti monitoringu stanu transportnikh zasobiv z vikoristannyam bortovikh diagnostichnikh kompleksiv / V. P. Mateyjchik, V. P. Volkov, P. B. Komov, I. V. Gricuk, A. P. Komov, Yu. V. Volkov // Upravlinnya proektami, sistemnij analiz i logistika : naukovij zhurnal – K. : NTU, 2014. – Vipusk 13. – S. 126-138.
2. Volkov V. P. Integraciya tekhnicheskoy ehkspluatacii avtomobileyj v strukturih i processih intellektualnihkh transportnikhkh sistem : monografiya / Pod red. V. P. Volkova / V. P. Volkov, V. P. Mateyjchik, O. Ya. Nikonov, P. B. Komov, I. V. Gricuk, Yu. V. Volkov, E. A. Komov. – Doneck : Izd-vo «Noulidzh», 2013. – 398 s.
3. Akhmedov T. N. Osnovih sistemih kontrolya sostoyaniya transportnogo sredstva v processe vihpolneniya perevozok / T. N. Akhmedov, S. V. Zhankaziev, A. E. Finkelj // Nauchnihe aspektih razvitiya transportno-telematicheskikh sistem – M. : MADI, 2010 – S. 138-164.
4. Akhmedov T. N. Principi opredeleniya statusov neispravnosteyj v telematicheskoyj sisteme kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobilya v realnom vremeni / T. N. Akhmedov // Nauchnihe aspektih razvitiya transportno-telematicheskikh sistem. – M. : MADI, 2010 – S. 165-180.
5. Volkov V. P. Organizaciya tekhnichnoï ehkspluatacii avtomobiliv v umovakh formuvannya intellektualnihkh transportnikh sistem / V. P. Volkov, V. P. Mateyjchik,

P. B. Komov, O. B. Komov, I. V. Gricuk // Visnik Nacionaljnogo tekhnichnogo universitetu «KhPI» : zbirnik naukovikh pracj. Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannya. – Kh. : NTU «KhPI». – 2013. – № 29 (1002). – S. 138-144.

6. Hansen P., Wolfe B. Remote Diagnostics – the Next OEM Frontier // The Hansen Report on Automotive Electronics. – Dec. 2003/Jan. 2004. – Vol. 16, № 10. – P. 1-3.

7. Volkov V. P. Osoblivosti monitoringu i viznachennya statusu nespravnosteyj transportnogo zasobu u skladi bortovogo informacijno-dagnostichnogo kompleksu / V. P. Volkov, I. V. Gricuk, A. P. Komov, Yu. V. Volkov // Visnik Nacionaljnogo transportnogo universitetu. – K. : NTU, 2014. – Vipusk 30. – S. 51-62.

8. Golovin S. F. Tekhnicheskijj servis transportnikkh mashin i oborudovaniya / S. F. Golovin. – M. : Aljfa-M : INFRA-M, 2008. – 288 s.

9. Mateyichik V. P. Osobennosti ehlektronnoj identifikacii transportnikkh sredstv v sostave bortovihkh informacionno-dagnosticheskikh kompleksov / V. P. Mateyichik, V. P. Volkov, P. B. Komov, I. V. Gricuk // Zbirnik nauk. pracj DonIZT UkrDAZT. – Doneckj : DonIZT, 2013 – Vipusk № 35. – S. 78-82.

10. Khenderson B. OBD-II i ehlektronnihe sistemih upravleniya dvigatelem. Rukovodstvo / B. Khenderson, Dzh. Kheyjnes. – SPb. : Alfamer Publishing, 2011 – 248 s.

11. Uve Rokosh. Bortovaya diagnostika. – M. : OOO Izdateljstvo «Za rulem». – 2013. – 224 s.

12. Tekhnicheskie vozmozhnosti povihsheniya resursa avtonomnikkh ehlektrostantsijj ehnergeticheskikh sistem : monografiya / V. A. Atrothenko, Yu.D. Shevcov, P. V. Yacihnin, R. A. Djyachenko, M. N. Pedjko. – Krasnodar : Izdateljskijj Dom-Yug, 2010. – 192 s.

**Волков В.П., Грицук И.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В. ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТУСА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА В УСЛОВИЯХ ITS**

*В статье представлен подход к формированию системы дистанционного мониторинга, диагностики, прогнозирования технического состояния и определения статуса неисправностей транспортного средства в составе бортового информационного программно-диагностического комплекса, работающего во взаимодействии с виртуальным предприятием в условиях ITS. Система позволяет на основе информационных и аппаратно-программных возможностей конкретной системы управления учитывать дорожные и эксплуатационные условия движения ТС в оперативном режиме. Для определения статуса неисправностей ТС создан механизм, использующий информационный обмен в процессе дистанционного мониторинга как в ручном и полуавтоматическом, так и в автоматическом режиме.*

**Ключевые слова:** транспортное средство, мониторинг параметров, диагностирование, прогнозирование, техническое состояние, неисправность, статус, информационная транспортная система.

**Volkov V.P., Gritsuk I.V., Gritsuk Ju.V., Volkov Ju.V. FEATURES OF THE INFORMATION SYSTEM TECHNICAL CONDITION MONITORING AND FAULT STATUS DETERMINATION VEHICLE UNDER CONDITIONS ITS**

*The paper presents an approach to the formation of a system of remote monitoring, diagnosis, prediction of technical condition and fault status of the vehicle as part of on-board diagnostic information and software complex, working in conjunction with the virtual enterprise under ITS. The system allows on the basis of information and hardware and software features specific control system to take into account road and operating conditions of the vehicle online. To determine the status of a vehicle breakdown, a mechanism that uses information exchange in the remote monitoring, both in manual and semi-automatic and automatic.*

**Keywords:** vehicle, data monitoring, diagnosis, prognosis, technical condition, the fault, status, information transport system.

© Волков В.П., Грицук И.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В.

Статтю прийнято  
до редакції 31.03.15

УДК 004.9

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КООРДИНАЦИИ В СИСТЕМЕ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ УПРАВЛЕНИЯ

*Ляшенко Е.Н., Кирийчук Д.Л.*

*Херсонский национальный технический университет*

*Проведен анализ работ в области теории координации. Обоснована актуальность разработки моделей, которые позволят решить задачу координации в многоуровневых иерархических системах.*

*Предложена структура многоуровневой иерархической системы гражданской защиты населения от чрезвычайных ситуаций, выделены уровни управления системы.*

*Приведена формальная постановка задачи координации в рассматриваемой системе.*

**Ключевые слова:** *задача координации, многоуровневая иерархическая система, чрезвычайная ситуация, система гражданской защиты населения.*

**Введение.** Согласно Кодексу гражданской защиты Украины [1], чрезвычайная ситуация (ЧС) – это обстановка на отдельной территории или субъекте хозяйствования на ней или водном объекте, которая характеризуется нарушением нормальных условий жизнедеятельности населения, вызванная катастрофой, аварией, пожаром, стихийным бедствием, эпидемией, эпизоотией, эпифитотией, применением средств поражения или другим опасным событием, которое привело (может привести) к возникновению угрозы жизни или здоровью населения, большому количеству погибших и пострадавших, нанесению значительных материальных убытков, а также к невозможности проживания населения на такой территории или объекте, ведения на ней хозяйственной деятельности.

Классификация ЧС на территории Украины осуществляется в соответствии с [2, 4].

Согласно [2, 4], ЧС по характеру происхождения делятся на: ЧС техногенного характера (аварии на транспорте, пожары, взрывы, аварии с выбросом химических, радиоактивных и биологически опасных веществ, аварии в электроэнергетических системах, системах жизнеобеспечения, системах телекоммуникаций, на очистных сооружениях, в системах нефтегазового промышленного комплекса, гидродинамических аварий и т.п.); ЧС природного характера (опасные геофизические, геологические, метеорологические или гидрологические явления, деградация почв, недр, пожары в природных экологических системах, изменение состояния воздушного бассейна, инфекционная заболеваемость и отравление людей, инфекционные заболевания домашних животных, массовая гибель диких животных, поражение сельскохозяйственных растений болезнями и вредителями и др.); ЧС социального характера (противоправные действия террористического и антиконституционного направления, исчезновение (похищение) оружия и опасных веществ, несчастные случаи с людьми и т.п.); ЧС военного характера (применение обычного оружия или оружия массового поражения, в ходе которого возникают вторичные факторы поражения населения).

В зависимости от объемов причиненных ЧС последствий, количества пострадавших и погибших, объемов технических и материальных ресурсов, необходимых для ликвидации ее последствий, определяют следующие уровни чрезвычайных ситуаций: государственный, региональный, местный и объектовый [2].

По данным Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям (ГСЧС) [3] в течение девяти месяцев 2014 года в Украине зарегистрировано 98 ЧС, которые, в соответствии с [2], разделились на ЧС: техногенного характера – 55; природного характера – 38; социального характера – 5.

Вследствие этих ЧС погибло 207 человек (из них 19 детей) и 449 – пострадали (из них 134 ребенка). По масштабам ЧС разделились на: государственного уровня – 4; регионального уровня – 8; местного уровня – 37; объектового уровня – 49.

В условиях возникновения ЧС необходима четкая координация действий органов управления и подразделений Оперативно-спасательной службы гражданской защиты, а также эффективное координационное управление силами и средствами, привлекаемыми для локализации зон и ликвидации последствий ЧС с целью спасения жизней, сохранения здоровья людей, снижения ущерба природной среде и материальных потерь, а также прекращения действия характерных для ЧС опасных факторов.

Таким образом, развитие теоретических основ реализации механизма координации в системе гражданской защиты населения от чрезвычайных ситуаций является важной и актуальной научной задачей.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Вопросам координации в научной литературе уделяется недостаточное внимание.

В классической работе М. Месаровича, Д. Мако, И. Такахара [7] исследуются математические модели иерархических структур управления. В предлагаемых авторами моделях иерархических систем используется формальный язык общей теории систем, основанный на теоретико-множественных концепциях, что предоставляет возможность получать обобщенные описания для проведения структурных исследований данных классов систем.

Центральное место в работе занимает исследование проблемы координации в двухуровневых системах и возможность распространения этих результатов на многоуровневые иерархические системы. Авторы рассматривают координацию как сферу деятельности или задачу вышестоящей управляющей системы, в ходе которой она пытается добиться, чтобы нижестоящие системы управления функционировали согласованно.

В данной работе также сформулированы принципы координации, которые определяют различные стратегии для координатора, т.е. определяют структуру процесса координации: принцип прогнозирования взаимодействий, принцип согласования взаимодействий и принцип оценки взаимодействий.

В работе [6] рассмотрены модели и методы координации инвестиционной деятельности, направленные на согласование интересов элементов крупномасштабных экономических систем (КЭС).

Под координацией в данной работе авторы понимают аппарат установления правил взаимодействия элементов КЭС, которые направлены на приведение к глобальной цели  $Z$ , стоящей перед системой в целом, локальных целей отдельных элементов  $Z_i (i \in I)$ , где  $I$  – множество элементов КЭС) и обеспечивающий согласование их действий по реализации этих целей.

Также в [6] авторами предложены три подхода к координации деятельности элементов КЭС:

- 1) целевой – определение и координация целей отдельных элементов;
- 2) оптимизационный – разработка внутреннего взаимодействия между элементами;
- 3) информационный – согласование финансовых и материальных потоков.

В работе [8] приведена общая схема координации в многоуровневых динамических системах, а также математическая постановка задачи координации в двухуровневых системах, состоящих из центра и ряда элементов нижнего уровня, взаимодействие между которыми происходит только через центр. Предложена процедура координации в таких системах. На основе общей процедуры конструируются различные численные методы координации, которые разбиваются на два основных класса – безитеративные и итеративные. При итеративных процедурах координации в многоуровневых динамических системах происходит многократный обмен информацией, а при безитеративных – однократный обмен информацией между уровнями.

В [9] на основе [7] предложены алгоритмы координации, основанные на нечетких множествах. В [10] рассматривались вопросы координации в условиях неопределенности для сложных производственных систем.

Формальная постановка задачи координации в многоуровневых иерархических системах требует наличия адекватных математических моделей, которые в силу особенностей предметной области не были предложены в рассмотренных работах. А модели координации, предложенные в [7,8,9] не обладают свойствами универсальности, достаточными для адаптации задач координации к классу многоуровневых иерархических систем.

**Целью статьи** является формирование и обоснование научных подходов к решению задачи координации в многоуровневых иерархических системах, к классу которых можно отнести систему защиты населения от чрезвычайных ситуаций.

**Структура системы гражданской защиты населения от чрезвычайных ситуаций регионального уровня управления (СГЗН).** Согласно [1, 5] единая система гражданской защиты населения от чрезвычайных ситуаций состоит из территориальных и функциональных подсистем и имеет четыре уровня управления:

- 1) общегосударственный (ликвидация ЧС, которые развиваются на территории двух и более областей);
- 2) региональный (ликвидация ЧС, которые развиваются на территории двух и более административных районов);
- 3) местный (ликвидация ЧС, которые выходят за границы потенциально опасного объекта);
- 4) объектовый (ликвидация ЧС, которые разворачиваются на территории объекта или самом объекте, и последствия которых не выходят за границы объекта).

В данной статье будет рассмотрена структура системы гражданской защиты населения от чрезвычайных ситуаций регионального уровня управления.

Структура СГЗН представлена на рис. 1 [1].

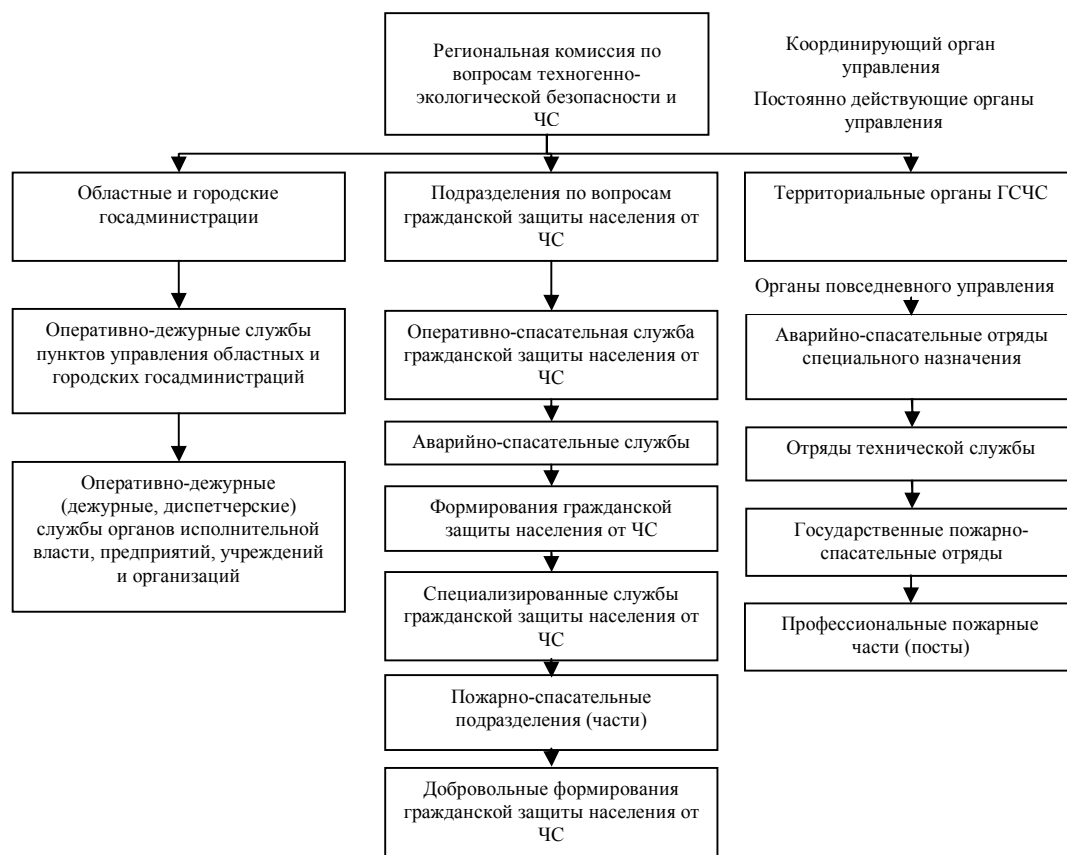


Рисунок 1 – Структура СГЗН

СГЗН имеет иерархическую структуру и три уровня управления. Каждый уровень СГЗН в свою очередь имеет: координирующие органы управления, постоянно действующие органы управления и органы повседневного управления.

Таким образом СГЗН можно отнести к классу иерархических многоуровневых систем.

Рассмотрим далее вопросы координации в системах указанного класса. Для этого представим структуру СГЗН в виде иерархии уровней управления (рис. 2).

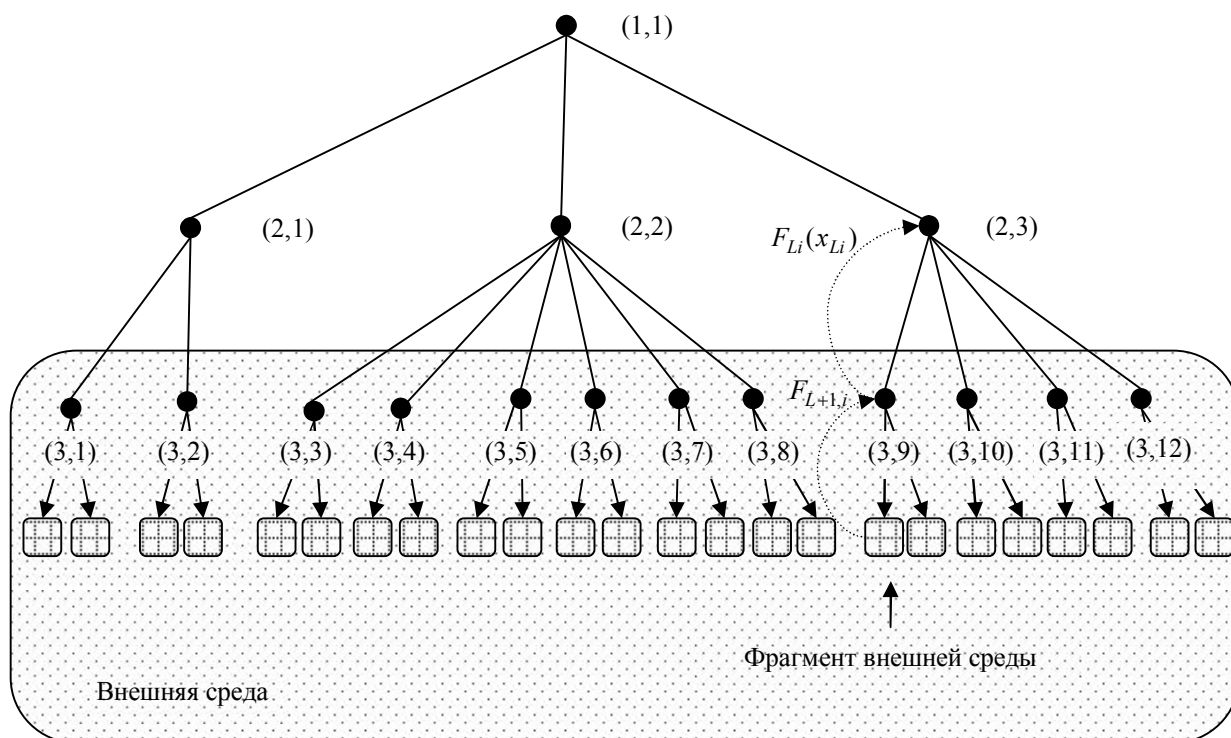


Рисунок 2 – Структура СГЗН в виде иерархии уровней управления

Пусть  $L$  – общее число уровней управления в системе, а  $N$  – общее число элементов системы. На уровне  $l$ ,  $l \in [1:N]$ , расположены  $N_l$  элементов.

Для системы на рис. 2 общее число уровней управления равно трем ( $L = 3$ ). На первом уровне расположен только один элемент  $N_1 = 1$ , второй уровень содержит три элемента  $N_2 = 3$ , а третий – двенадцать элементов  $N_3 = 12$ .

Элементы всех уровней, начиная со второго, подчинены одному элементу вышестоящего уровня. Для элемента  $(l,i)$  ( $i$ -й элемент  $l$ -го уровня управления) необходимо ввести множество индексов элементов  $(l+1)$ -го уровня управления, относящихся к элементу  $(l,i)$ . Данные множества обозначаются через  $J_{li}$ ,  $l \in [1:L-1]$  и имеют следующие свойства [8]:

$$\bigcup_{i \in [1:N_l]} J_{li} = [1:N_{l+1}], \quad J_{li_1} \cap J_{li_2} = \emptyset \text{ при } i_1 \neq i_2 \quad (1)$$

Для системы на рис. 2  $J_{11} = \{1;2;3\}$ ,  $J_{21} = \{1;2\}$ ,  $J_{22} = \{3;4;5;6;7;8\}$ ,  $J_{23} = \{9;10;11;12\}$ .

Пусть  $x_{li} \in (1:L)$ ,  $i \in [1:N_i]$  – вектор, характеризующий состояние элемента  $(l,i)$ ,  $F_{li}(x_{li})$  – вектор показателей этого элемента, который передается на верхний уровень управления, а  $\Phi_{li}(x_{li})$  – векторный критерий элемента.

Взаимосвязь между элементами разных уровней задается соотношениями [8]:

$$x_{li} = \{F_{l+1,j}, j \in J_{li}\}, l \in [1:L-1], i \in [1:N_l] \quad (2)$$

Для системы на рис.2  $x_{11} = (F_{21}, F_{22}, F_{23})$ ,  $x_{21} = (F_{31}, F_{32})$ ,  $x_{22} = (F_{33}, F_{34}, F_{35}, F_{36}, F_{37}, F_{38})$ ,  $x_{23} = (F_{39}, F_{310}, F_{311}, F_{312})$ .

Состояние элемента  $(l,i)$  определяется совокупным вектором показателей элементов нижнего,  $(l+1)$ -го уровня управления, относящихся к элементу  $(l,i)$ .

Для всех элементов управления, ограничения, которым должен удовлетворять вектор  $x_{li}$  записываются в виде [8]:

$$x_{Li} \in H_{Li}, i \in [1:N_L] \quad (3)$$

где  $H_{Li}$  – ограничения, заданные в виде интервала, либо объединения интервалов, либо множества значений функции, либо правила или системы правил.

Для  $l \in [1:L-1]$  векторы  $x_{li}$  должны удовлетворять ограничениям:

$$x_{li} \in H_{li} = X_{li}^1 \cap X_{li}^2 \quad (4)$$

где  $X_{(l+1),i}^1 = \{x_{li} = \{F_{l+1,j}, j \in J_{li}\} | H(x_{li}); x_{l+1,j} \in X_{l+1,j}\}$ ,  $X_{(l+1),i}^2 = \{x_{li} | H(x_{li})\}$ .

Допустим, что в рассматриваемой системе глобальная целевая функция совпадает с целевой функцией элемента первого уровня и имеет вид:

$$\Phi_{11}(x_{11}) \rightarrow \max \quad (5)$$

Таким образом, задачей координации является задача (2)-(5).

Введем такое  $x_{li}^*$ , что:

$$\begin{aligned} \Phi_{li}(x_{li}) &\rightarrow \max; \\ x_{li}^* &\in H_{li}; \\ l &\in [2:L], i \in [1:N_l] \end{aligned} \quad (6)$$

Пусть  $P$  – множество по Парето, тогда, решение  $x^*$  может быть получено как решение задачи векторной оптимизации:

$$x^* = (\{x_{li}^*\}, l \in [1:L], i \in [1:N_l]), x^* \in P \quad (7)$$

Решение задачи координации может быть сведено к решению задачи векторной оптимизации по Парето с учетом вектора критериев  $\Phi$  и вектора ограничений  $H$ .

**Вывод.** Проведен анализ работ в области теории координации. Обоснована актуальность разработки моделей, которые позволят решить задачу координации в многоуровневых иерархических системах.

Предложена структура многоуровневой иерархической системы гражданской защиты населения от чрезвычайных ситуаций, выделены уровни управления системы.

Приведена формальная постановка задачи координации в рассматриваемой системе.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI // Офіційний вісник України. – 2012. – № 89. – С. 3589
2. Національний класифікатор «Класифікатор надзвичайних ситуацій» ДК 019:2010: надано чинності наказом Держспоживстандарту України від 11.10.2010 № 457 [чинний від 01.01.2011]. – К. : Держспоживстандарт України. – 2010. – 19 с.
3. Інформаційна довідка про надзвичайні ситуації, які сталися на території України протягом 9 місяців 2014 року [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://mns.gov.ua/opinfo/7710.html>
4. Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями: постанова Кабінету Міністрів України № 368 від 24.03.2004 р. // Офіційний вісник України. – 2014. – № 12. – С. 740.
5. Про затвердження Положення про єдину державну систему цивільного захисту: постанова Кабінету Міністрів України № 11 від 09.01.2014 р. // Офіційний вісник України. – 2014. – № 8. – С. 10.
6. Клебанова Т. С. Модели и методы координации в крупномасштабных экономических системах / Т. С. Клебанова, Е. В. Молдавская, Чанг Хонгвен. – Харьков : БизнесИнформ, 2002. – 148 с.
7. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такаха. – М. : Мир, 1973. – 344 с.
8. Алиев Р. А. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления / Р. А. Алиев, М. И. Либерзон. – М. : Радио и связь, 1987. – 208 с.
9. Алтунин А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях / А. Е. Алтунин, М. В. Семухин. – Тюмень : Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
10. Ходаков В. Е. О развитии основ теории координации сложных систем / В. Е. Ходаков, Н. А. Соколова, Д. Л. Кирийчук // Проблемы информационных технологий. – 2014. – № 02 (016). – С. 12-21.

## REFERENCES

1. Kodeks civiljnogo zakhistu Ukraïni vid 02.10.2012 № 5403-VI // Oficiyjnijj visnik Ukraïni. – 2012. – № 89. – S. 3589
2. Nacionalnijj klasifikator «Klasifikator nadzvichaynikh situacijj» DK 019:2010: nadano chinnosti nakazom Derzhspozhivstandartu Ukraïni vid 11.10.2010 № 457 [chinnijj vid 01.01.2011]. – K. : Derzhspozhivstandart Ukraïni. – 2010. – 19 s.
3. Informacijjna dovidka pro nadzvichayjni situacii, yaki stalisya na teritorii Ukraïni protyagom 9 misyaciv 2014 roku [Elektronnijj resurs] – Rezhim dostupu : <http://mns.gov.ua/opinfo/7710.html>
4. Pro zatverdzhennya Poryadku klasifikacii nadzvichaynikh situacijj tekhnogennoho ta prirodnogo kharakteru za ikh rivnyami: postanova Kabineta Ministriv Ukraïni № 368 vid 24.03.2004 r. // Oficiyjnijj visnik Ukraïni. – 2014. – № 12. – S. 740.
5. Pro zatverdzhennya Polozhennya pro edinu derzhavnu sistemu civiljnogo zakhistu: postanova Kabineta Ministriv Ukraïni № 11 vid 09.01.2014 r. // Oficiyjnijj visnik Ukraïni. – 2014. – № 8. – S. 10.
6. Klebanova T. S. Modeli i metodih koordinacii v krupnomasshtabnikhkh ehkonomicheskikh sistemakh / T. S. Klebanova, E. V. Moldavskaya, Chang Khongven. – Kharjkov : BiznesInform, 2002. – 148 s.
7. Mesarovich M. Teoriya ierarkhicheskikh mnogourovnevihkh sistem / M. Mesarovich, D. Mako, I. Takakhara. – M. : Mir, 1973. – 344 s.

8. Aliev R. A. Metodih i algoritmih koordinacii v promishlennihkh sistemakh upravleniya / R. A. Aliev, M. I. Liberzon. – M. : Radio i svyazj, 1987. – 208 s.
9. Altunin A. E. Modeli i algoritmih prinyatiya resheniy v nechetkikh usloviyakh / A. E. Altunin, M. V. Semukhin. – Tyumenj : Izd-vo Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2000. – 352 s.
10. Khodakov V. E. O razvitii osnov teorii koordinacii slozhnihkh sistem / V. E. Khodakov, N. A. Sokolova, D. L. Kiriychuk // Problemih informacionnihkh tekhnologiy. – 2014. – № 02 (016). – S. 12-21.

**Ляшенко О.М., Кириичук Д.Л.** ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ КООРДИНАЦІЇ В СИСТЕМІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ ВІД НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ РЕГІОНАЛЬНОГО РІВНЯ УПРАВЛІННЯ

*Проведено аналіз робіт в галузі теорії координації. Обґрунтовано актуальність розробки моделей, які дозволять вирішити задачу координації в багаторівневих ієрархічних системах.*

*Запропоновано структуру багаторівневої ієрархічної системи цивільного захисту населення від надзвичайних ситуацій, визначені рівні управління системи.*

*Наведено формальну постановку задачі координації в даній системі.*

**Ключові слова:** задача координації, багаторівнева ієрархічна система, надзвичайна ситуація, система цивільного захисту населення.

**Lyashenko E.N., Kiriychuk D.L.** PROBLEM IN THE COORDINATION OF CIVIL PROTECTION OF POPULATION OF EMERGENCY MANAGEMENT REGIONAL LEVEL

*The analysis works on the theory of coordination. The urgency of the development of models that allow to solve the problem of coordination in multilevel hierarchical systems.*

*The structure of multilevel hierarchical system of civil protection of population from emergency situations, highlighted the levels of system management.*

*Shows a formal statement of the problem of coordination in the system.*

**Keywords:** the task of coordinating, multi-level hierarchical system, an emergency, the system of civil protection.

© Ляшенко О.М., Кириичук Д.Л.

Статтю прийнято  
до редакції 24.05.15

## СИСТЕМНАЯ КОНЦЕПЦИЯ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РЕГИОНАЛЬНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

*Нефедов Л.И., Шевченко М.В.*

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

*В статье рассматривается структура системы мониторинга и оценки технического состояния магистрального трубопровода и структура типовой системы регионального газоснабжения. Предложена иерархическая структура декомпозиции системы мониторинга регионального газоснабжения. Разработана концептуальная модель системы мониторинга регионального газоснабжения и системная концепция ее синтеза.*

**Ключевые слова:** синтез, система мониторинга, региональное газоснабжение, модель, концепция.

**Введение.** Продолжительный спад, захлестнувший экономику Украины, может быть преодолен путем коренных преобразований в основных сферах человеческой деятельности. Для этого, в частности, необходимо развивать отрасли топливно-энергетического комплекса, обеспечивая потребности страны во всех видах топлива и энергии путем увеличения их добычи и производства, а также планомерно проводить во всех отраслях и сферах народного хозяйства целенаправленную энергосберегающую политику. Одним из наиболее перспективных видов топлива является природный и сжиженный газ. Использование газа улучшает условия труда и способствует росту его производительности, позволяет осуществить принципиально новые технологические процессы [1].

**Постановка проблемы.** Современная система газоснабжения, включающая в себя как магистральные, так и городские газовые сети высокого, среднего и низкого давления, представляет собой сложную многоуровневую сеть, непрерывно развивающуюся как в пространстве, так и во времени. Причем общее состояние сетей, как правило, сильно отличается от запроектированных – следствие случайного характера газопотребления и изменения параметров участков газопроводов во времени (засорение конденсатом, изменение шероховатости труб, наличие утечек на стыках и швах и т.д.). Все это приводит к снижению надежности существующих газопроводов, нарушает бесперебойность газоснабжения потребителей, а в условиях дефицита газа не позволяет решить задачу его рационального распределения.

Таким образом, в существующих системах газораспределения скрыты внутренние резервы по дальнейшему повышению надежности и эффективности их функционирования, реализация которых не связана с вводом новых источников, требующих дополнительных капитальных затрат. Такие резервы связаны с совершенствованием управления технологическим процессом подачи и распределения газа на базе современных математических методов и средств вычислительной техники [1].

В настоящий момент как немаловажный этап в управлении можно выделить мониторинг технологических процессов. Однако вопросы, связанные с реализацией и проектированием такого типа систем в применении к проблематике транспорта газа и использования систем газоснабжения, все еще находятся в стадии разработки.

**Анализ последних исследований и публикаций и анализ нерешенных задач.** В работах [1, 2] рассматриваются проблемы, связанные с надежностью и качеством процессов регулирования современных систем газоснабжения, и рассматривается методика анализа аварийных рисков и прогноза отказов региональных распределительных систем газоснабжения.

В работе [3] рассматривается мониторинг магистральных трубопроводов на оползневых участках, где особое внимание уделяется особенностям рельефа местности и воздействию грунта на подземный трубопровод.

В патентах [4, 5] приведены изобретения, первое из которых может быть использовано для управления изменением свойств в результате старения трубопроводов, выполненных из железобетона, с доступной наружной поверхностью, а второе относится к средствам диагностики и может быть использовано для комплексного непрерывного мониторинга технического состояния магистральных трубопроводов.

Согласно [5], система мониторинга и оценки технического состояния магистрального трубопровода (МТ) должна включать набор датчиков для измерения физических параметров и средства для обработки измеренных физических параметров (рис. 1). Средства для обработки параметров содержат блок сбора данных, блок хранения данных и расчетных моделей, блок адаптации расчетных моделей, блок вычисления обобщенных косвенных показателей и устройство отображения информации АРМ диспетчера. Техническим результатом представленной структуры подключения является возможность предоставления информации с небольшим количеством данных, позволяющих диспетчеру своевременно принимать решения.

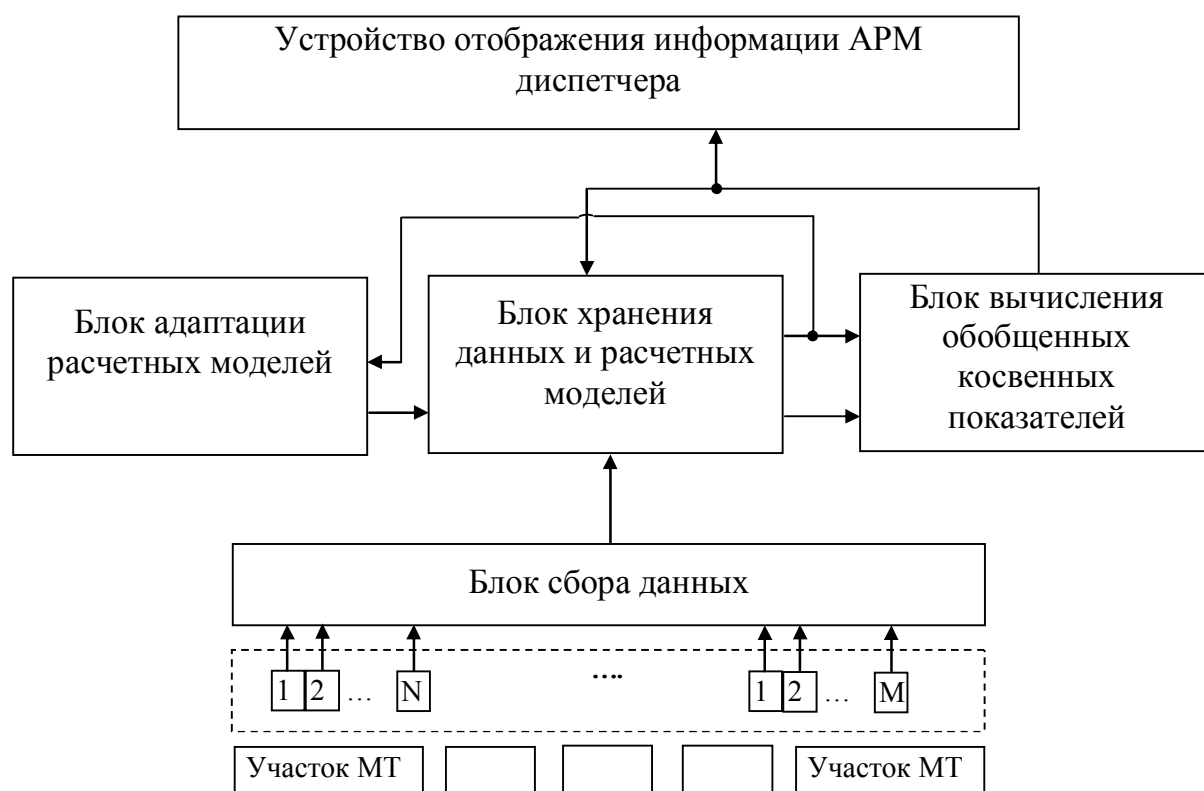


Рисунок 1 – Структура системы мониторинга и оценки технического состояния магистрального трубопровода

Подробно работа представленной системы рассмотрена в [5], однако эта система подразумевает свое использование только для магистрального трубопровода, а, соответственно, не охватывает сети среднего и низкого давления. Кроме того, сама структура системы является неоднозначной и не отражает аппаратных особенностей передачи информации от средств измерений к автоматизированному рабочему месту (АРМ) диспетчера. Также при описании изобретения не раскрыты вопросы, связанные с организацией и планированием мониторинга.

Таким образом, основное внимание в существующих на данный момент работах уделяется мониторингу состояния самого трубопровода в частности, а также системе регионального газоснабжения в общем, и оценке их с точки зрения подверженности коррозионным явлениям, а автоматизированному проектированию систем мониторинга транспорта газа практически не уделяется внимание.

**Цель и постановка задачи.** Целью исследования является повышение эффективности транспорта газа от источников до потребителей за счет разработки системной концепции синтеза системы мониторинга регионального газоснабжения.

Для достижения поставленной цели необходимо исследовать и проанализировать особенности системы регионального газоснабжения, обосновать математические модели и методы функционирования региональной системы газоснабжения, разработать алгоритмы контроля и управления в реальном времени поставками газа от пунктов переработки через или от магистральной сети, систему регионального газоснабжения и до потребителей. Для достижения поставленной цели предлагается декомпозировать систему мониторинга регионального газоснабжения и обосновать системную концепцию синтеза системы мониторинга регионального газоснабжения.

**Результаты исследования.** В [1] рассматриваются современные системы газоснабжения природным газом городов, областей, поселков и промышленных предприятий, при этом сложный взаимосвязанный комплекс газопроводов разных давлений, газораспределительных станций (ГРС), промежуточных регуляторных пунктов (ПРП), газорегуляторных пунктов (ГРП) и газорегуляторных установок (ГРУ), оборудования сетей, систем очистки и одоризации газа, систем связи и телеуправления, приборов учета потребления природного газа представлен на рисунке 2. Источником газоснабжения потребителей может быть магистральный газопровод от месторождения природного газа или газовый завод (при получении искусственных газов).

Газопроводы, прокладываемые в городах и населенных пунктах, по давлению газа разделяют на газопроводы низкого, среднего и высокого давления. Существует классификация газопроводов систем газоснабжения населенных пунктов в зависимости от давления газа, который транспортируется ими согласно ДБН В.2.5-20-2001 [6].

Система газоснабжения представляет собой, таким образом, многоступенчатую (иерархическую) структуру, имеющую распределительную сеть той или иной сложности на каждом уровне иерархии. Уровни связаны между собой регуляторами давления газа (ГРС, ПРП, ГРП), которые обеспечивают заданный режим в распределительной сети нижнего уровня (рис. 2).

Анализ состава потребителей газа по их принадлежности к уровням иерархии показывает, что из распределительных сетей верхних уровней (1-го, 2-го) потребляют газ наиболее крупные из них (промышленные предприятия, ТЭЦ и др.). Распределительные сети низкого давления (3-й уровень) питают в основном коммунально-бытовую группу потребителей и населения [1].

После того, как выделены и рассмотрены три основных уровня в системе газоснабжения, дадим определение мониторинга для системы такого типа.

Согласно [7], мониторинг – это непрерывное комплексное наблюдение за объектами, измерение параметров и анализ их функционирования. Таким образом, реализация процесса мониторинга представляет собой решение двух задач: измерения параметров объекта и анализ его функционирования.

Для выполнения задачи измерения необходимо дать ответы на вопросы:

1. Где измеряем? Определить контрольные точки измерения.
2. Что измеряем? Определить показатели и единицы измерения.
3. Как измеряем? Определить средства и методики измерения.
4. Какова периодичность (шаг) измерений? Определить через какие промежутки времени (с каким шагом) необходимо проводить измерения.

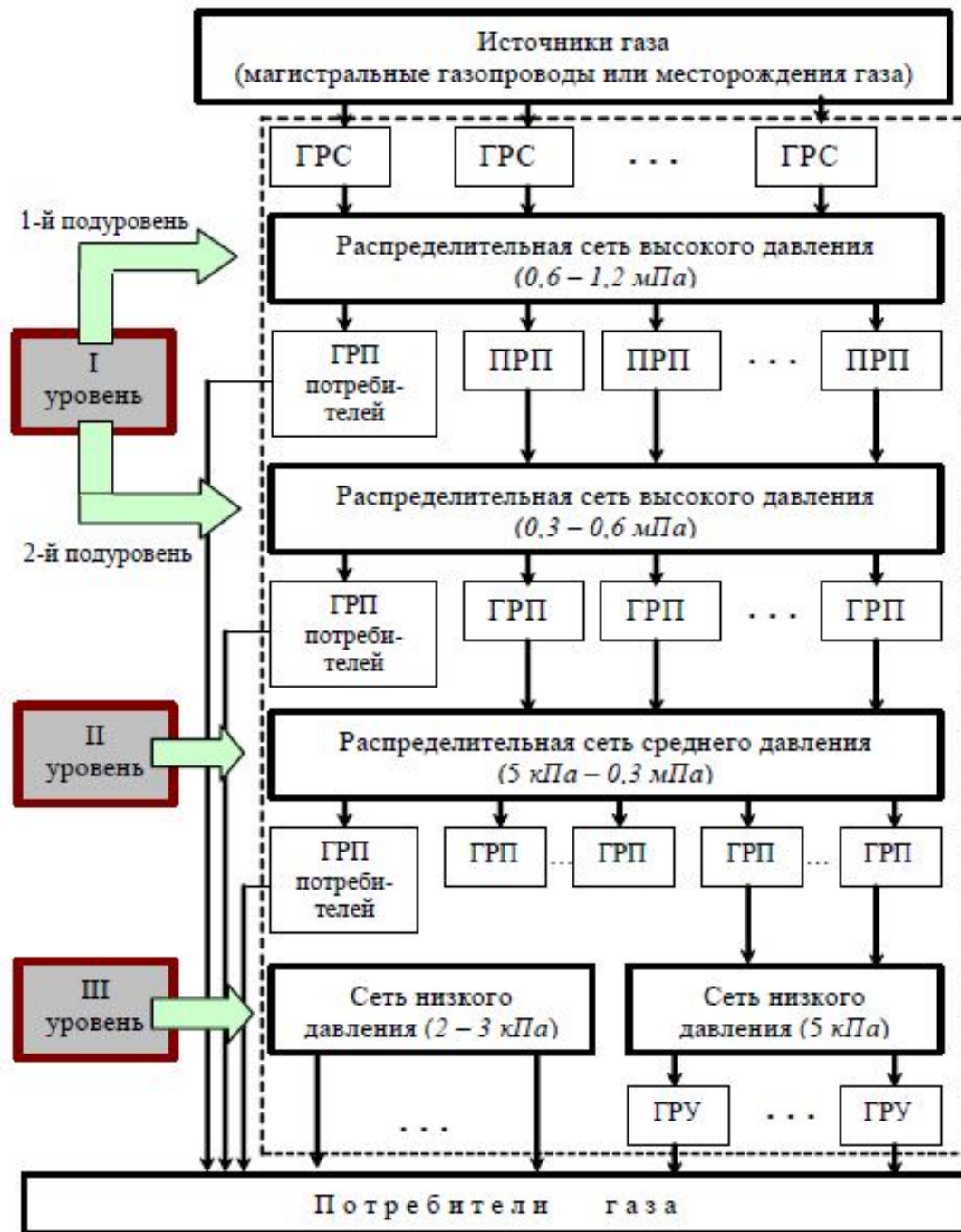


Рисунок 2 – Структура типовой системы регионального газоснабжения

На основании проанализированных структур можно обосновать следующую структуру системы мониторинга регионального газоснабжения (СМРГ), которая представлена на рис. 3.

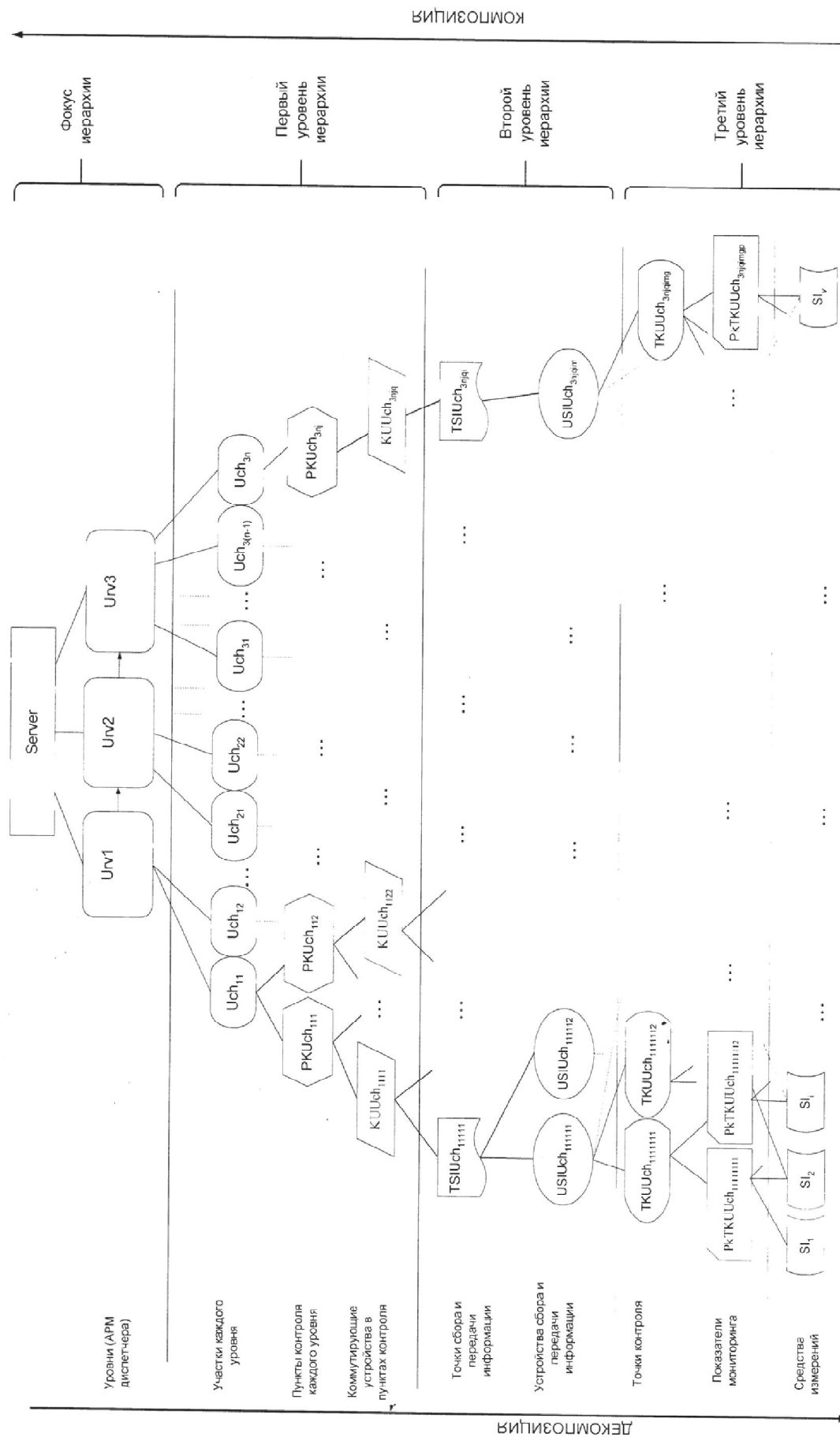


Рисунок 3 – Иерархическая структура декомпозиции системы мониторинга регионального газоснабжения

В предлагаемой иерархической структуре декомпозиции системы мониторинга на каждом из уровней  $Urv = \{Urv_E\}$ , где  $E = \overline{1,3}$ , 3 – количество уровней, для которых необходимо проводить мониторинг, выделяют некоторое число участков СМРГ  $Uch = \{Uch_{En}\}$ , где  $n = \overline{1, n^E}$ ,  $n$  – номер участка каждого из уровней системы мониторинга, при этом каждый из участков имеет пункты контроля  $PKUch = \{PKUch_{Enj}\}$ , где  $j = \overline{1, j'}$ ,  $j'$  – номер пункта контроля (ПК) каждого из участков системы мониторинга, в которых устанавливается хотя бы одно коммутирующее устройство (КУ) –  $KUUch = \{KUUch_{Enjq}\}$ , где  $q = \overline{1, q^j}$ ,  $q^j$  – число КУ, устанавливаемых в пункте контроля, в простейшем случае количество ПК и количество КУ, установленных в соответствующих ПК, совпадает с количеством участков.

При этом к каждому КУ будут подключены устройства сбора и передачи информации (УСПИ), которые, в свою очередь, будут устанавливаться в точках сбора и передачи информации  $TSIUch = \{TSIUch_{Enjq}\}$ , где  $i = \overline{1, i'}$ ,  $i'$  – номер точки сбора и передачи информации каждого из участков системы мониторинга. УСПИ представляют собой устройства, оснащенные модулями и программируемыми логическими контроллерами, предназначенные для снятия показаний со средств измерений,  $USIUch = \{USIUch_{Enjqim}\}$ ,  $m = \overline{1, m^i}$ ;  $m^i$  – номер УСПИ.

Точное количество УСПИ будет определяться в зависимости от списка точек контроля  $TKUUch = \{TKUUch_{Enjqimg}\}$ ,  $g = \overline{1, g'}$ ;  $g'$  – номер точки контроля (ТК), и установленных в них подключаемых средств измерений (СИ)  $SI = \{SI_{Enjqimgpv}\}$ ,  $v = \overline{1, v^p}$ ;  $v^p$  – количество средств измерений, с помощью которого в точках контроля измеряются показатели мониторинга  $PKTKUUch = \{PKTKUUch_{Enjqimgp}\}$ ,  $p = \overline{1, p^g}$ ;  $p^g$  – номер показателя, измеряемого в точке контроля.

Таким образом формируется четырехуровневая структура системы мониторинга регионального газоснабжения на макроуровне в виде набора порожденных графов  $G_{Urv}^C = (Urv_E, Y_E^C)$ ,  $G_{Uch}^C = (Uch_{En}, Y_{En}^C)$ ,  $G_{PKUch}^C = (PKUch_{Enj}, Y_{Enj}^C)$ ,  $G_{KUUch}^C = (KUUch_{Enjq}, Y_{Enjq}^C)$ ,  $G_{TSIUch}^C = (TSIUch_{Enjq}, Y_{Enjq}^C)$ ,  $G_{USIUch}^C = (USIUch_{Enjqim}, Y_{Enjqim}^C)$ ,  $G_{TKUUch}^C = (TKUUch_{Enjqimg}, Y_{Enjqimg}^C)$ ,  $G_{PKTKUUch}^C = (PKTKUUch_{Enjqimgp}, Y_{Enjqimgp}^C)$ ,  $G_{SI}^C = (SI_{Enjqimgpv}, Y_{Enjqimgpv}^C)$ . Здесь в качестве вершин выступают уровни, участки с установленными на каждом участке в соответствующем пункте контроля КУ, точки сбора и передачи информации (ТСПИ), в которых установлены УСПИ, точки контроля, показатели мониторинга, которые измеряются в точках контроля, и средства измерения для показателей мониторинга в каждой точке контроля, а ребра  $Y_{Enjqimgpv}^C$  отражают отношения между ними [8].

Схематическое представление процесса мониторинга системы регионального газоснабжения можно представить следующим образом (рис. 4): в виде черного ящика, который характеризуется входами (исходная информация) и выходами (результат работы СМРГ), информационным и ресурсным обеспечением (стрелки снизу) и методическим обеспечением (стрелки сверху).

При этом структура задач синтеза системы мониторинга регионального газоснабжения сводится к решению следующих основных подзадач:

- определение точек контроля;
- выбор показателей мониторинга в точках контроля;
- выбор средств измерений;
- определение мест размещения устройств сбора и передачи информации

и УСПИ;

- определение списка обслуживаемых точек контроля для каждого из УСПИ;
- выбор УСПИ в каждом из мест их размещения;
- определение мест размещения пунктов контроля и КУ;
- определение списка обслуживаемых УСПИ для каждого из КУ;
- выбор КУ для каждого из пунктов контроля.

Примем, что места установки АРМ диспетчера и сервера уже известны.

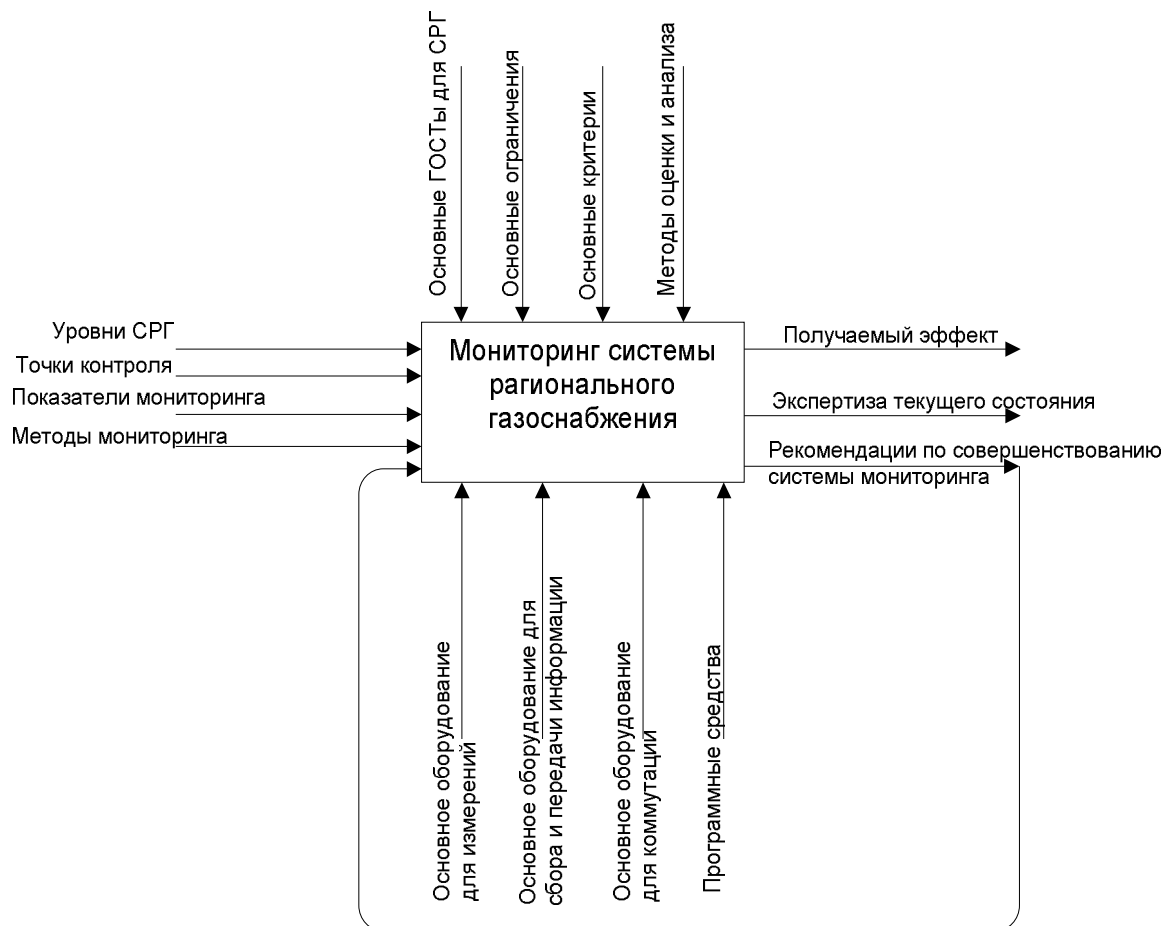


Рисунок 4 – Концептуальная модель СМРГ в виде черного ящика

Системная концепция взаимодействия задач представлена на рис. 5.

На рисунке показано взаимодействие задач для синтеза СМРГ и входных данных для них. Согласно [9], задачи структурного, топологического и параметрического синтеза заключаются в следующем. Суть задач выбора структуры можно представить следующим образом: считая заданными наборы типовых элементов, их функции и характеристики, определить количество уровней системы, множества элементов на каждом из уровней и их взаимосвязи.

Задача выбора топологии заключается в следующем: считая заданными множество требующих обслуживания объектов и структуру обслуживающей системы, определить размещение и связи элементов обслуживающей системы и подмножества и связи обслуживаемых ими объектов. К важнейшим ограничениям задачи относятся ограничения на места возможного размещения элементов, их удаленность от обслуживаемых объектов, состав подмножества обслуживаемых объектов.

Суть задач параметрического синтеза состоит в выборе функциональных характеристик элементов, подсистем и связей. Задача решается для конкретных структурных, топологических и технологических характеристик системы. Результаты решения составляют основу для синтеза элементов, подсистем и связей или выбора их типов и видов из заданного множества устройств.

Кроме того, сама процедура синтеза СМРГ в качестве обязательного включает этап анализа результатов мониторинга и экспертизу текущей ситуации. После чего можно перейти к выбору рекомендаций для последующего функционирования и эксплуатации СМРГ.

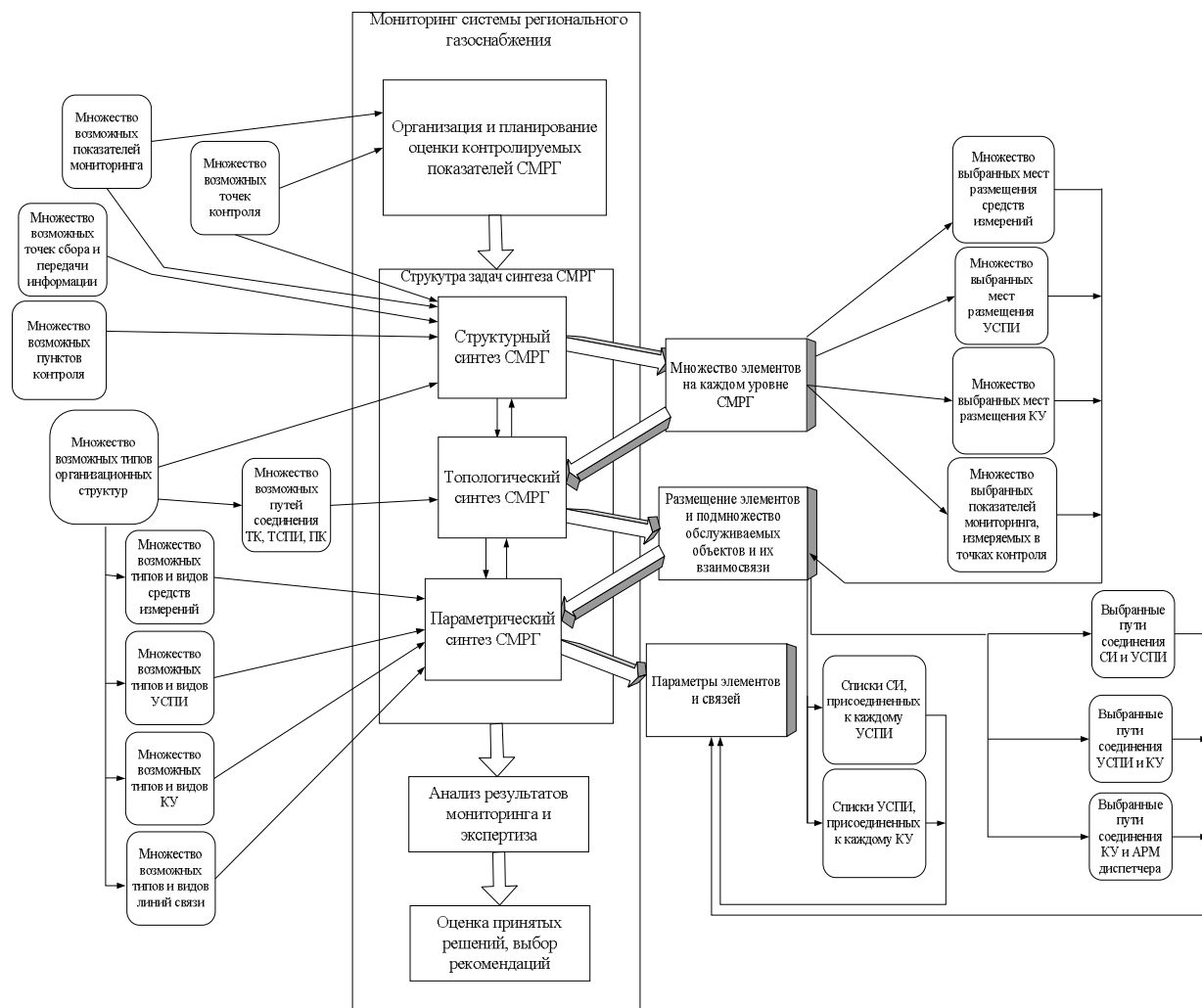


Рисунок 5 – Системная концепция взаимодействия задач для синтеза системы мониторинга регионального газоснабжения

Отметим, что при эксплуатации магистральных газопроводов контролю подлежат следующие основные показатели [10]:

- давление газа в начале и в конце участка, на выходе с промысла и на отводах на газораспределительные станции;
- количество транспортируемого газа, температура его на входе и выходе компрессорной станции, средняя по участку, на входе в газораспределительную станцию;
- наличие конденсата, влаги, сероводорода, тяжелых углеводородов и загрязнений в газе, давление на входе и выходе компрессорной станции, количество работающих агрегатов и режим их работы;
- исправность оборудования на компрессорных и газораспределительных станциях, герметичность газопровода;
- режим закачки газа в подземные хранилища, режим отбора газа постоянными и буферными потребителями и другие показатели, характеризующие состояние газопровода, его сооружений и оборудования.

В качестве исходных данных для синтеза системы мониторинга на этапе организации и планирования используется множество возможных точек контроля  $G = \{g : g = \overline{1, g^m}\}$ ;  $g^m$  – число точек контроля, в которых могут быть установлены

средства измерений показателей мониторинга газа. На основании этого проводится разработка модели организации и планирования оценки контролируемых показателей мониторинга.

Не все из указанных показателей могут быть измерены, часть из них определяется расчетами или совокупностью специализированных методов измерений (например отбором проб) и проведением расчетов. Следовательно, можно сказать, что множество возможных показателей в общем случае представляет собой совокупность подмножеств:

$$PKTKUUch = \{PKTKUUch^I_{Enjqimgp} \cup PKTKUUch^R_{Enjqimgp}\},$$

где  $PKTKUUch^I_{Enjqimgp} = \{p^I : p^I = \overline{1, p^{I_g}}\}$  – подмножество показателей мониторинга, которые можно измерить с помощью средств измерений (примем их как единичные показатели),  $PKTKUUch^R_{Enjqimgp} = \{p^R : p^R = \overline{p^{I_g} + 1, p^g}\}$  – подмножество показателей мониторинга, которые могут быть получены только путем расчетов или применения специализированных методов (будем называть их комплексными показателями). Однако и единичные, и комплексные показатели могут быть использованы для мониторинга в каждой из точек контроля, а следовательно, в результате объединения подмножеств получим множество возможных показателей мониторинга  $PKTKUUch = \{p : p = \overline{1, p^g}\}$ ;  $p^g$  – число показателей мониторинга в каждой из точек контроля. На основании этого проводится организация и планирование оценки контролируемых показателей мониторинга.

Основными составляющими синтеза СМРГ можно выделить следующие частные задачи:

- структурного синтеза;
- топологического синтеза;
- параметрического синтеза.

**Выводы.** Таким образом в статье проанализированы типовая система газоснабжения и структура системы мониторинга и оценки технического состояния магистрального трубопровода. На основании проведенного анализа предложена иерархическая модель декомпозиции системы мониторинга регионального газоснабжения, которая позволяет определить набор задач синтеза СМРГ для каждого из уровней в типовой системе газоснабжения. Разработана концептуальная модель СМРГ в виде черного ящика, которая отражает взаимодействие исходной информации на входе, информационного, ресурсного и методического обеспечения для получения выходной информации о получаемом эффекте, текущем состоянии системы мониторинга на основании экспертизы, а также получать рекомендации по совершенствованию СМРГ, которые будут направлены как на управление системой регионального газоснабжения, так и улучшение самой системы.

Предложена системная концепция взаимодействия задач синтеза системы мониторинга регионального газоснабжения, которая, в отличие от известных подходов, позволяет с единых системных позиций разработать СМРГ. На следующем этапе исследований необходимо разработать соответствующие многокритериальные модели, которые будут учитывать все особенности синтезируемой системы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надежность и качество процессов регулирования современных систем газоснабжения : монография / [В. С. Седак, В. Н. Супонев, Н. Д. Каслин и др. ]; под общ. ред. В. С. Седака. – Х. : ХНАГХ, 2011. – 226 с.
2. Седак В. С. Методика анализа аварийных рисков и прогноза отказов региональных распределительных систем газоснабжения / В. С. Седак, Н. Я. Рыбников, Н. Д. Каслин // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 5 (87) – С. 70-78.

3. Александров А. А. Мониторинг магистральных трубопроводов на оползневых участках / А. А. Александров, С. П. Суцев, П. А. Ревель-Муроз, Д. Ю. Грязнев // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». – 2012. – № 3. – С. 93-101.
4. Способ и система мониторинга рабочих характеристик трубопровода, содержащего текучую среду под давлением [Электронный ресурс] / Владельцы патента : ОКСАНД (FR) – Режим доступа : <http://www.findpatent.ru/patent/235/2351915.html#>.
5. Способ мониторинга и оценки технического состояния магистрального трубопровода и система для его реализации [Электронный ресурс] / Владельцы патента: Открытое акционерное общество «Гипрогазцентр» (RU) – Режим доступа : <http://www.findpatent.ru/patent/245/2451874.html>.
6. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Газопостачання: ДБН В. 2.5-20-2001. – Офіц. вид. – К. : Держбуд України, 2001. – 192 с. – (Державні будівельні норми України).
7. Нефедов Л. И. Модели организации мониторинга оценки качества бизнес-процесса транспорта газа на компрессорной станции / Л. И. Нефедов, А. А. Шевченко // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Информатика и моделирование. – 2008. – № 24. – С. 94-98.
8. Нефедов Л. И. Обобщенная модель синтеза системы мониторинга качества добычи, переработки и транспорта газа / Л. И. Нефедов, М. В. Шевченко, О. Н. Кудырко // Науковий журнал «ScienceRise». – 2014. – № 1(1). – С. 7-18.
9. Петров Э. Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э. Г. Петров, В. П. Пискалова, В. В. Бескоровайный. – К. : «Техніка», 1992 – 208 с.
10. Котляр И. Я. Эксплуатация магистральных газопроводов / И. Я. Котляр, В. М. Пиляк. – Л. : «Недра», 1971. – 248 с.

## REFERENCES

1. Nadezhnostj i kachestvo processov regulirovaniya sovremennihkh sistem gazosnabzheniya : monografiya / [V. S. Sedak, V. N. Suponev, N. D. Kaslin i dr. ]; pod obth. red. V. S. Sedaka. – Kh. : KhNAGKh, 2011. – 226 s.
2. Sedak V. S. Metodika analiza avariynihkh riskov i prognoza otkazov regionalnihkh raspredelitel'nykh sistem gazosnabzheniya / V. S. Sedak, N. Ya. Rihbnikov, N. D. Kaslin // Ehnergoberezhenie. Ehnergetika. Ehnergoaudit. – 2011. – № 5 (87) – S. 70-78.
3. Aleksandrov A. A. Monitoring magistral'nykh truboprovodov na opolznevnykh uchastkakh / A. A. Aleksandrov, S. P. Suthev, P. A. Revelj-Muroz, D. Yu. Gryaznev// Vestnik MGTU im. N.Eh. Baumana. Ser. «Priborostroenie». – 2012. – № 3. – S. 93-101.
4. Sposob i sistema monitoringa rabochikh kharakteristik truboprovoda, soderzhathego tekuchuyu sredu pod davleniem [Ehlektronnihyj resurs] / Vladejcih patenta : OKSAND (FR) – Rezhim dostupa : <http://www.findpatent.ru/patent/235/2351915.html#>.
5. Sposob monitoringa i ocenki tekhnicheskogo sostoyaniya magistral'nogo truboprovoda i sistema dlya ego realizacii [Ehlektronnihyj resurs] / Vladejcih patenta: Otkrihtoe akcionernoe obthstvo «Giprogazcentr» (RU) – Rezhim dostupa : <http://www.findpatent.ru/patent/245/2451874.html>.
6. Inzhenerne obladnannya budinkiv i sporud. Zovnishni merezhi ta sporudi. Gazopostachannya: DBN V. 2.5-20-2001. – Ofic. vid. – K. : Derzhbud Ukraïni, 2001. – 192 s. – (Derzhavni budiveljni normi Ukraïni).
7. Nefedov L. I. Modeli organizacii monitoringa ocenki kachestva biznes-processa transporta gaza na kompressornoj stancii / L. I. Nefedov, A. A. Shevchenko // Vestnik NTU «KhPI». Seriya: Informatika i modelirovanie. – 2008. – № 24. – S. 94-98.
8. Nefedov L. I. Obobthennaya modelj sinteza sistemih monitoringa kachestva dobihchi, pererabotki i transporta gaza / L. I. Nefedov, M. V. Shevchenko, O. N. Kudihko // Naukoviy zhurnal «ScienceRise». – 2014. – № 1(1). – S. 7-18.
9. Petrov Eh. G. Territorial'no raspredelennihe sistemih obsluzhivaniya / Eh. G. Petrov, V. P. Pisklakova, V. V. Beskorovayjnihyj. – K. : «Tekhnika», 1992 – 208 s.

10. Kotlyar I. Ya. Ehkspluatatsiya magistral'nykh gazoprovodov / I. Ya. Kotlyar, V. M. Pilyak. – L. : «Nedra», 1971. – 248 s.

**Нефьодов Л.І., Шевченко М.В.** СИСТЕМНА КОНЦЕПЦІЯ СИНТЕЗУ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ РЕГІОНАЛЬНОГО ГАЗОПОСТАЧАННЯ

*У статті розглядається структура системи моніторингу та оцінки технічного стану магістрального трубопроводу і структура типової системи регіонального газопостачання. Запропоновано структуру декомпозиції системи моніторингу регіонального газопостачання. Розроблено концептуальну модель системи моніторингу регіонального газопостачання та системну концепцію її синтезу.*

**Ключові слова:** синтез, система моніторингу, регіональне газопостачання, модель, концепція.

**Nefedov L.I., Shevchenko M.V.** SYSTEM CONCEPT SYNTHESIS MONITORING SYSTEM OF REGIONAL GAS SUPPLY

*The structure of the monitoring system and evaluation of the main pipeline technical condition and the structure of a typical system of regional gas supply in the article has been discussed. Hierarchical decomposition of the monitoring system of regional gas supply has been proposed. A conceptual model of a system for monitoring the regional gas supply system concept and its synthesis have been developed*

**Keywords:** synthesis, system monitoring, regional gas supply, model, concept.

© Нефьодов Л.І., Шевченко М.В.

Статтю прийнято  
до редакції 28.04.15

УДК: 331.015.11: 656.7.052: 001.891 (045)

## ВПЛИВ СПЕЦИФІКИ ЗАСТОСУВАННЯ НОРМИ ЕШЕЛОНУВАННЯ НА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЯВУ РІВНІВ ДОМАГАНЬ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ

*Рева О.М., Борсук С.П.*

*Національний авіаційний університет*

*Враховуючи вплив людського чинника на безпеку польотів при управлінні повітряним рухом, уперше комплексно досліджені рівні домагань студентів-диспетчерів на континуумі норми ешелонування повітряного простору  $S=10$  km, яка має чотири умови застосування при організації руху повітряних суден у горизонтальній площині.*

*Аналіз полігонів частот розподілу рівнів домагань дозволив виявити п'ять закономірностей ставлення студентів-авіадиспетчерів до порушення норм ешелонування, зокрема виявлені локальний ( $S=6$  km) і глобальний ( $S=10$  km) піки. Встановлено також, що при керуванні повітряним рухом, коли польоти виконуються у горизонтальній площині, молоді авіадиспетчери не відчують різниці у порушеннях повздовжніх та бокових інтервалів польотів.*

**Ключові слова:** людський чинник, безпека польотів, авіадиспетчери, норма ешелонування повітряного простору, рівні домагань на відстанях між повітряними судами.

**Вступ.** Процес керування повітряним рухом (КПР) завжди вважався складним, і наразі він демонструє тенденції до більшого ускладнення, зумовленого багатьма чинниками, зокрема:

- науково-технічним прогресом (НТП);
- перманентним збільшенням послуг на ринку повітряних перевезень;
- вимогами глобального забезпечення безпеки польотів (БП);
- зростанням кількості авіаційного персоналу, залученого до безпосереднього виконання та керування польотами з мультиплікативним взаємним впливом тощо.

Досвід світової цивільної авіації показує, що найбільш ефективним заходом врахування перелічених чинників задля забезпечення належного рівня БП традиційно вважається організація плідної професійної підготовки (ПП) авіаційних операторів (АО) «переднього краю» (авіадиспетчерів (А/Д), членів льотного екіпажу (ЧЛЕ)) високого гатунку [1]. Адже статистика авіаційних пригод (АП) переконує, що вони можуть не лише негативно впливати на БП, виправдовуючи сумну роль людського чинника (ЛЧ) [2], але ж і активно втручатися в локалізацію і усунення наслідків відмов технічних елементів складної системи керування «пілот (льотний екіпаж в цілому) – повітряне судно (ПС) – середовище – орган обслуговування повітряного руху (ОПР)» [3; 4]. Причому головною метою при цьому вважаються процеси прийняття рішень (ПР) АО в так званому «режимі синхронного генератора» [5; 6], коли за рахунок активного застосування евристичного мислення [7–9] людина спроможна фактично on-line продукувати нові знання, вміння професійні навички (ЗУПН) для подолання нестандартних небезпечних ситуацій.

У зв'язку з вищезазначеним особливо цікавими є процеси початкової ПП, адже саме тут закладаються основи майбутньої професійної надійності АО.

**Актуальність.** Оскільки заходи забезпечення належного рівня БП мають «червоною ниткою» проходити через усі процеси, що відбуваються у авіаційній транспортній системі (АТС), то ІКАО розробила концепцію забезпечення БП, яка, залежно від передбачуваного аспекту, може мати різні інтерпретації [10; 11]. Узявши за основу аналізу стикання / нестикання інтерфейсів блоків «суб'єкт – процедури» моделі SHELL, рекомендовані ІКАО для виявлення проблем ЛЧ в АТС [2–4; 11–13 та ін.], була розроблена схема взаємного впливу чинників-складових, що утворюють зазначену концепцію безпеки (рис. 1). Вважаємо, що запропонований нами підхід добре пояснює і так звані «золоті правила» [14], яких мають дотримуватися ЧЛЕ для подолання наслідків нештатних і аварійних ситуацій, і «брудну дюжину» – дванадцять елементів ЛЧ, які можуть погіршувати здатність авіаційного персоналу виконувати свої професійні

обов'язки безпечно й ефективно [15].



Рисунок 1 – Подання взаємодії складових концепцій безпеки ІКАО через призму стикання / нестикання блоків «суб'єкт – процедури» моделі SHEL

Таким чином, якщо «ставлення авіаційного персоналу до небезпечних дій або умов» професійної діяльності є головним логічним поясненням негативного впливу ЛЧ на БП, то питання виявлення цього самого «ставлення» є актуальним і нагальним. Тому вважаємо доцільним звернутися до практики розслідування АП, з якої впливає обов'язкова процедура виявлення в учасників АП [16]:

- спрямованості особистості (рівень домагань (РД), адекватність самооцінки (СО));
- уваги (вміння її концентрувати на фоні перешкод, розподіляти та перемикаєти);
- емоційних рис (емоційна стійкість і емоційне збудження);
- інтелектуальних характеристик (швидкість протікання розумових процесів, кмітливість, здатність оперувати просторовими уявленнями);
- характеристик оперативної пам'яті.

З перелічених пояснень негативного впливу ЛЧ на виникнення АП наша особлива увага була привернута до проактивного вивчення РД А/Д на характеристиках та показниках їх професійної діяльності, зокрема на континуумі норми ешелонування повітряного простору (НЕПП) *S*. Адже дійсно, РД вважається одним із фундаментальних і стабільних структурних утворень особистості і сприяє поясненню адекватності її СО [17–19], що особливо важливо з позицій забезпечення БП. При цьому, враховуючи [20–22], в контексті наших досліджень під РД розумітимемо точку на шкалі об'єктивних успіхів, тобто відстань між ПС в межах досліджуваного континууму *S* НЕПП, яка відповідає максимальному приросту корисності (бажаності) в уяві А/Д. Зауважимо, що корисність (бажаність, прийнятність) в такому контексті розглядається з позицій спроможності А/Д розв'язати складну повітряну обстановку при наявному в нього рівня ЗУПН.

Рівень домагань у професійній діяльності А/Д з ОПР характеризує:

- ступінь складності поставлених професійних завдань, вирішення яких є метою майбутніх дій (глобальна ціль);
- вибір мети наступних дій з розв'язання складної повітряної обстановки в залежності від переживання результатів попередніх дій (успіх чи невдача);
- бажаний рівень СО особистості.

Адекватність домагань вказує на відповідність цілі та можливості особистості [19]. Тому вважатимемо, що А/Д, які мають адекватний РД, відрізняються впевненістю в собі, наполегливістю, продуктивністю праці, критичністю оцінки досягнутого результату діяльності з ОПР.

На сьогоднішній день відомі декілька методик визначення РД через СО, однак жодна з них не стосується характеристик та показників професійної діяльності, тому не викликає зацікавленості АО під час тестування. З іншого боку, якщо використати рекомендації щодо точки на шкалі об'єктивних показників діяльності індивіда, то згідно з рекомендаціями роботи [20], РД можна виявити з побудови та аналізу оціночних функцій корисності (ОФК) зазначених показників [20 – 22]. В такому випадку РД  $S^*$  визначається з виразів:

$$\frac{\max_{i=2, (r-1)} \Delta u(S)}{H} = u(s_r) - u(s_{r-1}) > u(s_i) - u(s_{i-1}) \quad (1)$$

або

$$\frac{\max_{i=2, (r-1)} \Delta u(S)}{H} = u(s_r) - u(s_{r-1}) \text{ Ю } \max, \quad \frac{\Delta u(s_r)}{H} > 0 \quad (2)$$

де  $u(S)$  – позначка ОФК відстані  $S$  між ПС.

Досвід досліджень [21–24 та ін.] вказує, оскільки під час аналізу відповідних ОФК насправді досліджується кілька її характерних точок, це дає змогу застосовувати наведений підхід до визначення РД для вирішення «трикутника ризиків» ІКАО [11], коли відповідні якісні рівні ризику (неприйнятний, припустимий, прийнятний) отримують ще й кількісне наповнення, як діапазон між характерними точками ОФП.

**Постанова завдання.** Зважаючи на вищезазначене, метою цієї публікації є проактивне визначення РД студентів-А/Д за умов порушення повітряними суднами (ПС) НЕПП.

**Результати досліджень з визначення особливостей прояву РД студентів-А/Д.** До досліджень були залучені 129 студентів-А/Д 4-го і 5-го курсів навчання Національного авіаційного університету (м. Київ) та Кіровоградської льотної академії. Кожному випробуваному було запропоновано, користуючись шкалою  $[-100...+100]$ , побудувати за аналогією з рис. 1 відповідну ОФК, визначивши рівень задоволення (бажаності, корисності, прийнятності) континууму НЕПП  $S=10 \text{ km}$  з інтервалом (кроком) у один кілометр (рис. 2).

При цьому слід зазначити, що досліджувана НЕПП  $S=10 \text{ km}$  стосується специфіки наступних умов виконання польотів ПС:

1) відстань між ПС, що прямують одним маршрутом та на одному ешелоні в диспетчерському районі APP (Approach Control – диспетчерське обслуговування заходу на посадку (ЗП) ТМА (Terminal Control Area, – вузловий диспетчерський район) з використанням автоматизованої системи (АС) управління повітряним рухом (УПР) (за виключенням сегментів ЗП);

2) поздовжній інтервал між ПС у сегментах ЗП та на етапах зльоту середнього ПС (М), яке слідує за тяжким ПС (Н), та легкого ПС (Л), яке слідує за середнім ПС (М) (у межах диспетчерської зони CTR на висоті польоту 1700 метрів і нижче);

3) боковий інтервал між ПС у диспетчерських районах (СТА, ТМА) при перетині ешелону на попутних треках і в момент перетину ешелону (без урахування повздовжнього інтервалу) за умов відсутності сходження треків;

4) повздовжній інтервал між ПС у диспетчерських районах ТМА при перетині ешелону на попутних треках при використанні АС УПР, та в момент перетину ешелону за умов відсутності сходження треків.

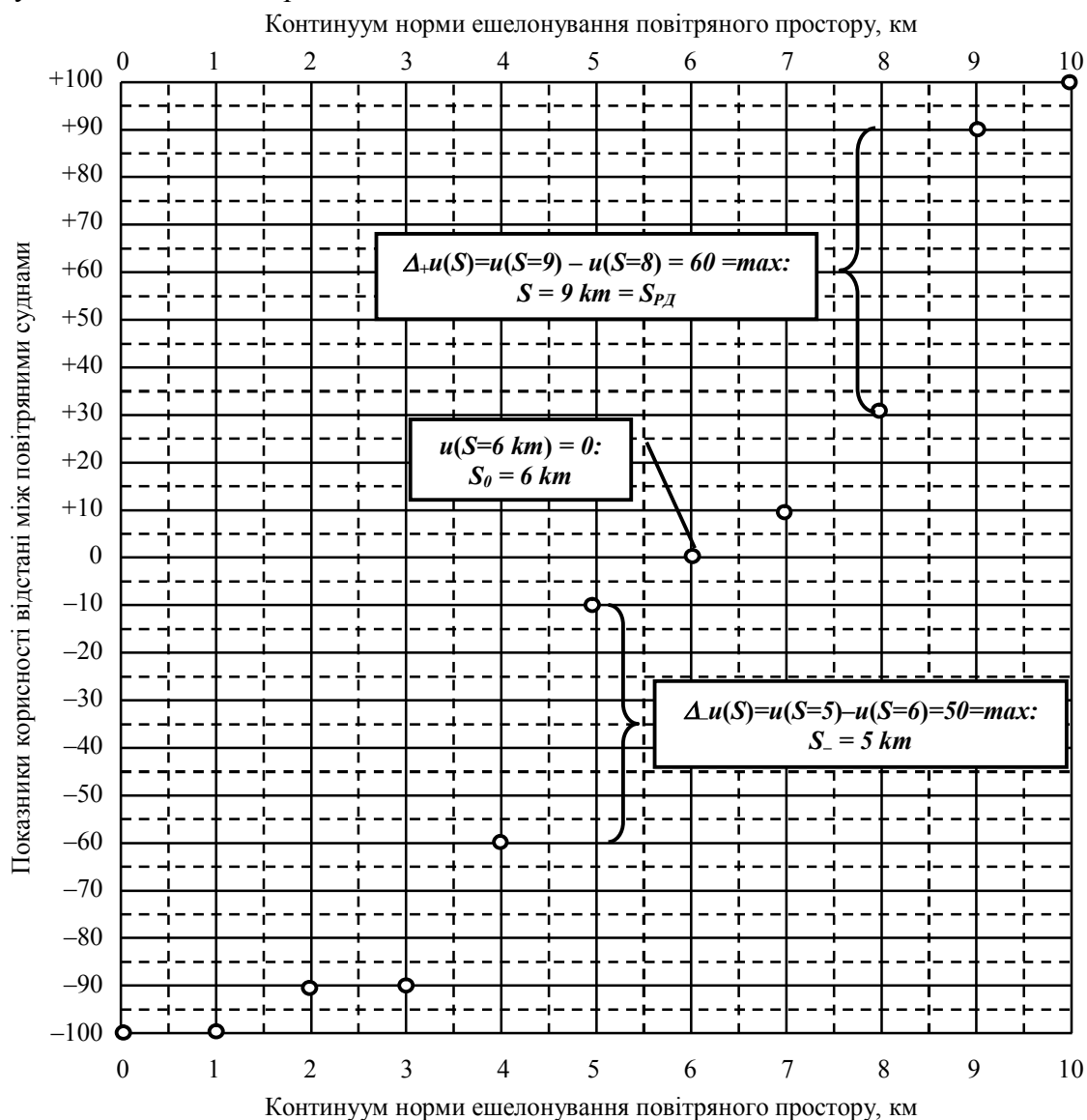


Рисунок 2 – Парадигма побудови студентом-авіадиспетчером  $N$  оціночної функції корисності відстані між повітряними суднами у межах досліджуваної норми ешелонування  $S = 10$  км

Обробка експериментальних даних проводилася в такий спосіб:

*по-перше*, для кожної сусідньої пари відстаней, користуючись формулою (1), було знайдено різницю рівнів задоволення (корисності, прийнятності, бажаності), яка характеризує його динаміку;

*по-друге*, для кожного опитуваного, відповідно до формули (2), було виділено максимальне значення зазначеної різниці, яка й відповідає шуканому РД;

*по-третє*, якщо значення максимальної різниці було єдиним, воно приймалося як остаточний результат, тобто РД;

*по-четверте*, якщо було виявлено кілька максимальних різниць приросту корисності відстаней між ПС, то обиралося середнє значення, у іншому випадку обиралося найбільше.

Визначення РД наочно ілюструє рис. 2. Однак при аналізі такого роду ОФП

досліджуються, як правило, три характерних точки:

$S^* = S_{PD}$  – РД на континуумі норми ешелонування;

$S_0$  – точка переходу негативної корисності (бажаності) відстані між ПС у позитивну;

$S_-$  – точка негативного стрибка корисності (бажаності) відстані між ПС.

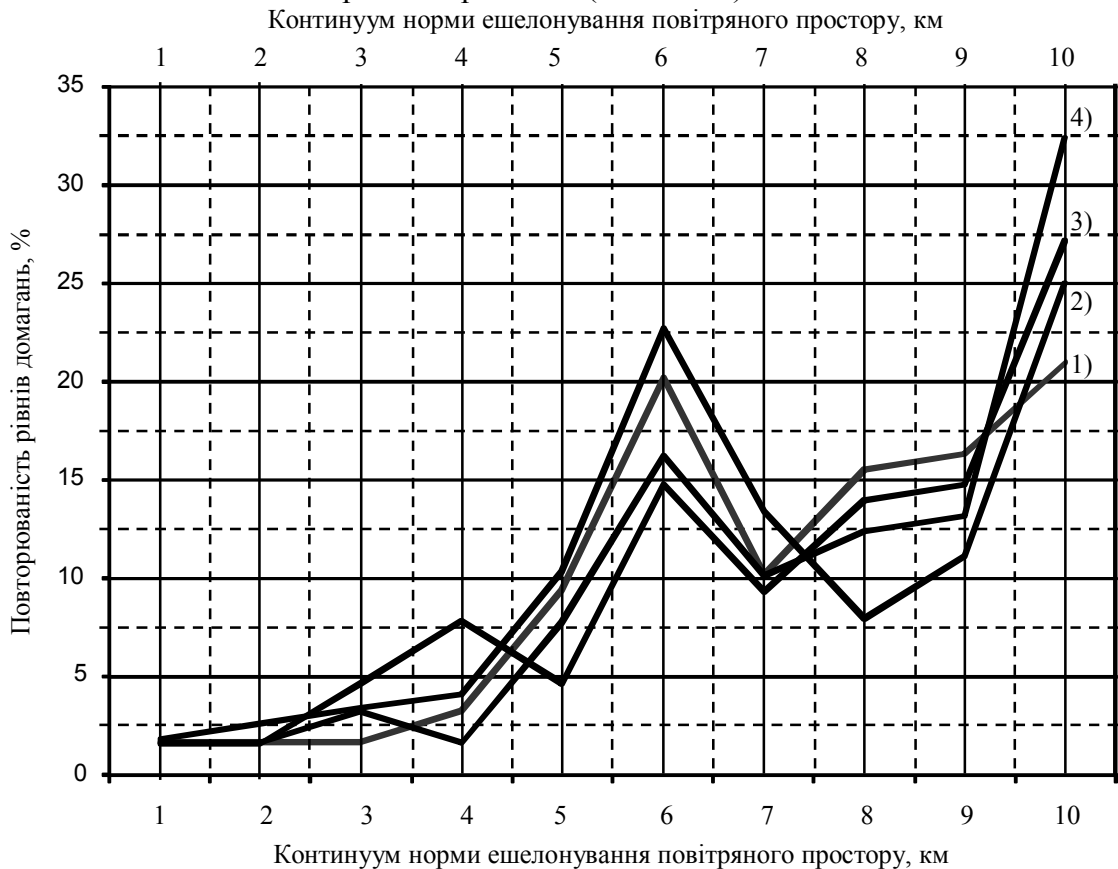


Рисунок 3 – Динаміка рівнів домагань студентів-авіадиспетчерів на нормі ешелонування повітряного простору  $S=10\text{ km}$ : 1)–4) – полігони частот, що відповідають різним умовам взаємного розташування повітряних суден у просторі середовища

Однак ця публікація присвячена дослідженню лише РД, причому полігонів частот їх розподілу на континуумі НЕПП. Рис. 3 ілюструє отриману динаміку росту бажаності відстаней між ПС у межах досліджуваної НЕПП  $S=10\text{ km}$ .

З огляду на отримані експериментальні графіки полігонів частот РД встановлено декілька закономірностей (рис. 3). Перша з них полягає у тому, що виявлено явне існування на континуумі досліджуваної НЕПП двох пікових точок, локальної (lokal) та глобальної (global), для кожної з вищеперелічених умов взаємного розташування ПС. Друга закономірність пов'язана з тим, що для усіх чотирьох умов і локальні пікові точки, і глобальні пікові точки мають однакові відстані між ПС, відповідно,  $S_{lok} = 6\text{ km}$  та  $S_{glob} = 10\text{ km}$ . Звичайно, локальні пікові точки менші за глобальні в межах досліджуваної НЕПП. Третя закономірність – це зростання кількості виявлених частот РД до локальної пікової точки, спадання після неї та знову зростання до самої границі НЕПП. У якості четвертої закономірності вкажемо, що усі 100 % випробуваних припускають можливість порушення НЕПП, надаючи відповідним відстаням між ПС різну корисність, у тому числі і негативну. П'ята закономірність виходить з того, що третя умова застосування досліджуваної НЕПП стосується поперечного ешелонування, в той час як інші – є поздовжніми. Отже випробувані студенти-А/Д не відчують різниці між напрямком порушення НЕПП у горизонтальній площині.

Слід зазначити, що саме такий аналіз ОФК, що ґрунтується на вивченні полігонів частот РД, запропонований нами вперше.

**Висновки.** Таким чином, виходячи з отриманих і поданих нових наукових результатів, зосередимо увагу на таких найбільш важливих положеннях. Уперше досліджені РД студентів-А/Д для усіх чотирьох умов застосування НЕПП  $S_{glob}=10\text{ km}$ . Отримані результати дозволяють стверджувати, що студенти-А/Д розрізняють корисність кожної відстані між ПС, незалежно від напрямку ешелонування у горизонтальній площині.

На полігонах частот РД виявлені п'ять закономірностей, насамперед, локальна та глобальна пікові точки, однакові для усіх отриманих діапазонів даних, що дозволяє зробити висновок про невід'ємне існування в уяві випробуваних концептуально-когнітивної моделі, пов'язаної із зазначеними НЕПП.

Зростання і частот, і абсолютних величин РД пояснюється прагненням все ж більшості студентів-А/Д забезпечити належний рівень БП, враховуючи особистісний рівень ПП.

Подальші дослідження слід проводити шляхом:

- більш суворого статистичного аналізу експериментальних даних;
- порівняння отриманих результатів з РД студентів-А/Д на інших НЕПП;
- моделювання на диспетчерських тренажерах відстаней між ПС, що відповідають локальним та глобальним точкам прояву РД.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Камишин В. В. Системна індивідуалізація процесів професійної підготовки авіаційних операторів / В. В. Камишин // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон : ХДМА, 2013. – № 1 (8). – С. 76-83.
2. Изучение роли человеческого фактора при авиационных происшествиях и инцидентах // Человеческий фактор : сборник материалов № 7. – Циркуляр ИКАО 240-AN/144. – Монреаль, Канада, 1993. – 76 с.
3. Рева О. М. Вплив на безпеку польотів особливостей взаємодії елементів ергатичної системи «екіпаж (пілот) – повітряне судно – орган управління повітряним рухом» / О. М. Рева, А. А. Бекмухамбетов, Г. М. Селезньов // Наукові праці академії. – Вип. VI. – Ч. I. – Кіровоград : ДЛАУ, 2002. – С. 147-155.
4. Рева А. Н. Человеческий фактор и безопасность полетов: (Проактивное исследование влияния) : монография / А. Н. Рева, К. М. Тумышев, А. А. Бекмухамбетов; науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумышев. – Алматы, 2006. – 242 с.
5. Шеридан Т. Б. Система человек – машина: Модели обработки информации, управления и принятия решения человеком-оператором : пер. с англ. / Т. Б. Шеридан, У. Р. Феррел; под ред. К. В. Фролова. – М. : Машиностроение, 1980. – 400 с.
6. Рева О. М. Проблеми формування у пілота навичок долаття наслідків відмов авіаційної техніки в режимі синхронного генератора / О. М. Рева, С. О. Дмитрієв, О. М. Дмитрієв // Авіаційно-космічна техніка і технологія: наук.-техн. ж. – Х. : Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2009. – № 2. – С. 97-102.
7. Александров А. Е. Основы теории эвристических решений. Подход к изучению естественного и построению искусственного интеллекта / А. Е. Александров; под. ред. П. Г. Кузнецова. – М. : Советское радио, 1975. – 256 с.
8. Шибанов Г. П. Количественная оценка деятельности человека в системах «человек-техника» / Г. П. Шибанов. – М. : Машиностроение, 1983. – 263 с.
10. Поспелов Д. А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов / Д. А. Поспелов. – М. : Радио и связь, 1989. – 184 с.
11. Зиньковская С. М. Понимание концепции управления безопасностью полетов и концепция риска [Текст] / С. М. Зиньковская // Актуальные вопросы психологии в области человеческого фактора : м-лы второй междун. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 20-22 марта 2008 г. / ГОУ ВПО «Урал. гос. пед. ун-т»; ГОУ ВПО «Урал. ин-т гос.

противопож. службы». – Екатеринбург, 2008. – С. 3-8.

12. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП): Дос. ICAO 9859 – AN / 474. – Монреаль, Канада, 2013.

13. Фундаментальные концепции человеческого фактора // Человеческий фактор : сборник материалов № 1. – Циркуляр ИКАО 216 AN / 131. – Монреаль, Канада, 1989. – 34 с.

14. Рева А. Н. Нечеткая оценка риска нестыковки блоков «человек – процедуры» модели SHELL ИКАО / А. Н. Рева, С. П. Борсук // Интелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту : [м-ли міжнар. наук. конф., присвяченої пам'яті професора Ф. Б. Рогальського. (с. Залізний Порт Херсонської обл., 28-31 травня 2014 р.)] – Херсон : ХНТУ, 2014. – С. 153-155.

15. Материалы международного семинара по сокращению количества авиационных происшествий при заходе на посадку и посадке (ALAR Tool Kit – Руководство ALAR). – Россия, Москва, 29-30 июля 2003 г.

16. Основные принципы учета человеческого фактора в руководстве по проведению проверок безопасности полетов: Дос. ICAO 9806 – AN / 763. – Монреаль, Канада, 2002.

17. Правила медичного розслідування авіаційних подій. Затв. Наказом Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації 05.12.2005, № 919.

18. Hoppe F. Erfolg and Misserfolg / F. Hoppe // Psychol. Forsch. – 1930. – Bd. 14. – p. 162.

19. Уровень притязаний / К. Левин, Т. Дембо, Л. Фестингер, П. Сирс // Психология личности : тексты. – М. : МГУ, 1982. – С. 86-92.

20. Пашукова Т. И. Психологические исследования: практикум по общей психологии для студентов педагогических вузов : учеб. пособ. / Т. И. Пашукова, А. И. Допира, В. Дьяконов. – М. : Изд-во «Институт практической психологии», 1996. – 127 с.

21. Козелецкий Ю. Психологическая теория решений : пер. с польск. Г. Е. Минца, В. Н. Поруса / Ю. Козелецкий; под ред. Б. В. Бирюкова. – М. : Прогресс, 1979. – 504 с.

22. Рева О. М. Рівень домагань авіадиспетчерів на показниках робочого навантаження / О. М. Рева, М. Б. Мірзоєв, П. Ш. Мухтаров, Ш. Ш. Насіров // Авіаційно-космічна техніка і технологія: наук.-техн. ж. – Харків : Національний аерокосмічний ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2013. – № 8 (105). – С. 273-281.

23. Мухтаров П. Ш. Людський чинник в аеронавігації: рівні домагань авіадиспетчерів при оцінці бажаності відстані між повітряними судами / П. Ш. Мухтаров // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон : ХДМА, 2014. – № 1(10). – С. 283-288.

24. Актуальные направления разработки проактивных моделей решения «треугольника рисков» ИКАО / А. Н. Рева, В. И. Вдовиченко, С. П. Борсук [и др.] // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування: збірка матеріалів IV Всеукр. наук.-практ. конф. – Херсон, 9-11 жовтня 2013 р., – Херсон : ХДМА, 2013. – С. 334-338.

25. Reva O. Multiplication of Air Accidents Frequency and Hazard Desirability Coefficients for ICAO Safety Risk Tolerability Matrix Solution / Sergey Pavlovich Borsuk, Oleksiy Reva, Volodymyr Kharchenko // Logistics and Transport, 2015. – No 1 (25) – P. 63-69.

## REFERENCES

1. Kamishin V V. Sistemna individualizaciya procesiv profesijnoї pidgotovki aviacijnykh operatoriv / V. V. Kamishin // Naukoviy visnik Khersons'koї derzhavnoї morsk'koї akademii. – Kherson : KhDMA, 2013. – № 1 (8). – S. 76-83.

2. Izuchenie roli chelovecheskogo faktora pri aviacionnykh proissheshtviyakh i incidentakh // Chelovecheskiy faktor : sbornik materialov № 7. – Cirkulyar ICAO 240-

AN/144. – Monrealj, Kanada, 1993. – 76 s.

3. Reva O. M. Vpliv na bezpeku poljotiv osoblivosteyj vzaemodii elementiv ergatichoi sistemi «ekipazh (pilot) – povitryane sudno – organ upravlinnya povitryanim rukhom» / O. M. Reva, A. A. Bekmukhambetov, G. M. Seleznyov // Naukovi praci akademii. – Vip. VI. – Ch. I. – Kirovograd : DLAU, 2002. – S. 147-155.

4. Reva A. N. Chelovecheskiy faktor i bezopasnostj poletov: (Proaktivnoe issledovanie vliyaniya) : monografiya / A. N. Reva, K. M. Tumihshev, A. A. Bekmukhambetov; nauch. red. A. N. Reva, K. M. Tumihshev. – Almatih, 2006. – 242 s.

5. Sheridan T. B. Sistema chelovek – mashina: Modeli obrabotki informacii, upravleniya i prinyatiya resheniya chelovekom-operatorom : per. s angl. / T. B. Sheridan, U. R. Ferrel; pod red. K. V. Frolova. – M. : Mashinostroenie, 1980. – 400 s.

6. Reva O. M. Problemi formuvannya u pilota navichok dolannya naslidkiv vidmov aviacyjnoi tekhniki v rezhimi sinkhronnogo generatora / O. M. Reva, S. O. Dmitriev, O. M. Dmitriev // Aviacyjno-kosmichna tekhnika i tekhnologiya: nauk.-tekhn. zh. – Kh. : Nacionalnij aerokosmichnij universitet im. M. Ć. Zhukovskogo «KhAI», 2009. – № 2. – S. 97-102.

7. Aleksandrov A. E. Osnovih teorii ehvristicheskikh resheniyj. Podkhod k izucheniyu estestvennogo i postroeniyu iskusstvennogo intellekta / A. E. Aleksandrov; pod. red. P. G. Kuznecova. – M. : Sovetskoe radio, 1975. – 256 s.

8. Shibano G. P. Kolichestvennaya ocenka deyatelnosti cheloveka v sistemakh «chelovek-tekhnika» / G. P. Shibano. – M. : Mashinostroenie, 1983. – 263 s.

9. Pospelov D. A. Modelirovanie rassuzhdeniyj. Opiht analiza mihslitelnykh aktov / D. A. Pospelov. – M. : Radio i svyazj, 1989. – 184 s.

10. Zinjkovskaya S. M. Ponimanie koncepcii upravleniya bezopasnostjyu poletov i koncepciya riska [Tekst] / S. M. Zinjkovskaya // Aktualnihe voprosih psikhologii v oblasti chelovecheskogo faktora : m-lih vtoroy mezhdu. nauch.-prakt.konf., Ekaterinburg, 20-22 marta 2008 g. / GOU VPO «Ural. gos. ped. un-t»; GOU VPO «Ural. in-t gos. protivopozh. sluzhbih». – Ekaterinburg, 2008. – S. 3-8.

11. Rukovodstvo po upravleniyu bezopasnostjyu poletov (RUBP): Doc. ICAO 9859 – AN / 474. – Monrealj, Kanada, 2013.

12. Fundamentalnihe koncepcii chelovecheskogo faktora // Chelovecheskiy faktor : sbornik materialov № 1. – Cirkulyar ICAO 216 AN / 131. – Monrealj, Kanada, 1989. – 34 s.

13. Reva A. N. Nechetkaya ocenka riska nestihkovki blokov «chelovek – procedurih» modeli SHELL ICAO / A. N. Reva, S. P. Borsuk // Intelektualni sistemi priyinyattya rishenij i problemi obchislyuvalnogo intellekta : [m-li mizhnar. nauk. konf., prisvyachenoĭ pam'yati profesora F. B. Rogalskogo. (s. Zaliznij Port Khersonskoj obl., 28-31 travnya 2014 r.)] – Kherson : KhNTU, 2014. – S. 153-155.

14. Materialih mezhdunarodnogo seminaru po sokratheniyu kolichestva aviacionnykh proisshestviy pri zakhode na posadku i posadke (ALAR Tool Kit – Rukovodstvo ALAR). – Rossiya, Moskva, 29-30 iyulya 2003 g.

15. Osnovnihe principih ucheta chelovecheskogo faktora v rukovodstve po provedeniyu proverok bezopasnosti poletov: Doc. ICAO 9806 – AN / 763. – Monrealj, Kanada, 2002.

16. Pravila medichnogo rozsliduvannya aviacyjnykh podiyj. Zatv. Nakazom Derzhavnoi sluzhbi Ukraĭni z naglyadu za zabezpechennym bezpeki aviacyi 05.12.2005, № 919.

17. Hoppe F. Erfolg and Misserfilg / F. Hoppe // Psychol. Forsch. – 1930. – Bd. 14. – p. 162.

18. Urovenj prityazaniy / K. Levin, T. Dembo, L. Festinger, P. Sirs // Psikhologiya lichnosti : tekstih. – M. : MGU, 1982. – S. 86-92.

19. Pashukova T. I. Psikhologicheskie issledovaniya: praktikum po obtheyj psikhologii dlya studentov pedagogicheskikh vuzov : ucheb. posob. / T. I. Pashukova, A. I. Dopira, V. Djyakonov. – M. : Izd-vo «Institut prakticheskoy psikhologii», 1996. – 127 s.

20. Kozeleckiy Yu. Psikhologicheskaya teoriya resheniy : per. s poljsk. G. E. Minca, V. N. Porusa / Yu. Kozeleckiy; pod red. B. V. Biryukova. – M. : Progress, 1979. – 504 s.
21. Reva O. M. Rivenj domaganj aviadispatcheriv na pokaznikakh robochogo navantazheniya / O. M. Reva, M. B. Mirzoev, P. Sh. Mukhtarov, Sh. Sh. Nasirov // Aviacijno-kosmichna tekhnika i tekhnologiya: nauk.-tehn. zh. – Kharkiv : Nacionalnij aerokosmichnij un-t im. M. S. Zhukovskogo «KhAI», 2013. – № 8 (105). – S. 273-281.
22. Mukhtarov P. Sh. Lyudskij chinnik v aeronavigacii: rivni domaganj aviadispatcheriv pri ocinci bazhanosti vidstani mizh povitryanimi sudami / P. Sh. Mukhtarov // Naukovij visnik Khersons'koj derzhavnoj mors'koj akademii. – Kherson : KhDMA, 2014. – № 1(10). – S. 283-288.
23. Aktualnihe napravleniya razrabotki proaktivnih modelej resheniya «treugolnika riskov» ICAO / A. N. Reva, V. I. Vdovichenko, S. P. Borsuk [i dr.] // Suchasni energetichni ustanovki na transporti, tekhnologii ta obladnannya dlya ikh obslugovuvannya: zbirka materialiv IV Vseukr. nauk.-prakt. konf. – Kherson, 9-11 zhovtnya 2013 r., – Kherson : KhDMA, 2013. – S. 334-338.
24. Reva O. Multiplication of Air Accidents Frequency and Hazard Desirability Coefficients for ICAO Safety Risk Tolerability Matrix Solution / Sergey Pavlovich Borsuk, Oleksiy Reva, Volodymyr Kharchenko // Logistics and Transport, 2015. – No 1 (25) – P. 63-69.

**Рева А.Н., Борсук С.П.** ВЛИЯНИЕ СПЕЦИФИКИ ПРИМЕНЕНИЯ НОРМЫ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ НА ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ УРОВНЕЙ ПРИТЯЗАНИЙ АВИАДИСПЕТЧЕРОВ

*Учитывая влияние человеческого фактора на безопасность полетов при управлении воздушным движением, впервые комплексно исследованы уровни притязаний студентов-авиадиспетчеров на континууме нормы эшелонирования воздушного пространства  $S=10$  км, которая имеет четыре условия применения при организации воздушных судов в горизонтальной плоскости.*

*Анализ полигонов частот распределения уровней притязаний позволил выявить пять закономерностей отношения студентов-авиадиспетчеров к нарушению норм эшелонирования, в частности, обнаружены локальный ( $S=6$  км) и глобальный ( $S=10$  км) пики. Установлено также, что при управлении воздушным движением, когда полеты выполняются в горизонтальной плоскости, молодые авиадиспетчеры не чувствуют разницу между нарушениями продольных и боковых интервалов полетов.*

**Ключевые слова:** человеческий фактор, безопасность полетов, авиадиспетчеры, норма эшелонирования воздушного пространства, уровни притязаний на расстояниях между воздушными судами.

**Reva O.M., Borsuk S.P.** Influence of flight norms appliance peculiarities upon particularity of air traffic controllers desirability levels.

*Taking into account influence of human factor on the flight safety during air traffic control, at the first time desirability levels of air traffic control students are researched on the continuum of flight separation norm in 10 km. that is applicable in four different circumstances in horizontal plane of air traffic management.*

*Analysis of desirability levels distribution frequencies polygons allowed to find five tendencies in air traffic control student attitude to flight norms violation. In particular there we found local ( $S=6$  km.) and global ( $S=10$  km.) peaks. It is also found that during air traffic control when flights are held in horizontal plane young air traffic controllers feels no difference between longitudinal and lateral flight intervals.*

**Keywords:** human factor, flight safety, air traffic controllers, air space separation norm, desirability levels on the distances between aircrafts.

© Рева О.М., Борсук С.П.

Статтю прийнято  
до редакції 07.04.15

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЕРЕТВОРЕННЯ БАЗОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ОДЯГУ

Сафонова Г.Ф., Сафонов М.С., Яковенко О.Є.  
Одеський національний політехнічний університет

*Результатом синтезу властивостей перших розрахунково-мірочних, пропорційно-розрахункових та антропометричних методів крою став комбінований метод, який має такі основні характеристики: для побудов необхідна незначна кількість розмірних ознак, формул; врахування індивідуальних особливостей фігури, антропометричність та естетичність результату; простота побудов та читаність креслень; якісна посадка виробу на фігурі. Описана математична модель перетворення конструкцій одягу, створених на основі комбінованого методу. Дана модель дозволила формалізувати алгоритми плоско-паралельних, плоско-обертальних та мішаних зміщень ділянок деталей конструкцій при конструктивному моделюванні. Описані види зміщень за допомогою аналітичної геометрії були розглянуті як перетворення системи координат: паралельне перенесення та поворот. Представлені частини функціонального коду та зображення деяких форм програми, в якій була реалізована розглянута математична модель.*

**Ключові слова:** методи конструювання, базові лекала, побудова креслень, перетворення конструкцій одягу.

**Постановка проблеми в загальному виді, виділення невирішених завдань проблеми.** Початковим етапом створення швейного виробу є розробка базового комплекту лекал. Існуючі у промисловості розрахунково-графічні методи конструювання, в основному, не прилаштовані для безпосереднього програмування. Однак усі вони можуть бути покладені в основу алгоритмів розрахунку параметрів і побудови контурів деталей базових конструкцій одягу.

Виходячи з точності та обґрунтованості результатів методи конструювання одягу можна поділити на наближені та інженерні [1]. Більшість САПР одягу, які дозволяють отримати досить точні побудови розгортки деталей виробу ґрунтовані на інженерних методах конструювання, що вимагають детальної теоретичної та експериментальної розробки первинних зразків моделей, манекенів внутрішньої та зовнішньої форми; введення детальної інформації про об'єкт проектування з залученням обладнання значної вартості [2–4]. Це можуть дозволити собі в основному великі швейні підприємства, які використовують лекала стандартних розмірів [5, 6] і САПР такого плану не потребують. А для невеликого швейного виробництва, яке займається також індивідуальним пошивом, необхідно мати недороге в функціонуванні та просте у використанні програмне забезпечення, ґрунтоване на методі конструювання, що надає якісну посадку одягу і враховує індивідуальні особливості замовника.

Результатом синтезу властивостей перших розрахунково-мірочних, пропорційно-розрахункових та антропометричних методів крою [7] став комбінований метод, який має наступні характеристики: для побудов необхідна незначна кількість розмірних ознак, формул; відсутність залежності побудов від таблиць інваріант; врахування індивідуальних особливостей фігури, антропометричність та естетичність результату; простота побудов та читаність креслень; якісна посадка виробу на фігурі [8].

Впровадження даного методу в інформаційну систему висуває ряд додаткових питань, зокрема постає необхідність створення алгоритмів перетворення отриманих базових конструкцій. Тобто в системі автоматизованого проектування одягу має бути виділена підсистема конструктивного моделювання, в якій виконуються операції, пов'язані з плоским конструктивно-декоративним модифікуванням базових конструкцій (КДМБК) [9].

**Виклад матеріалів дослідження.** Метою роботи є описання та реалізації математичної моделі перетворення базових конструкцій одягу, створених на основі комбінованого методу.

Можливі елементи КДМБК розглядаються як сукупність графічних побудов [10], які направлені на оформлення якої-небудь модельної особливості. Для вирішення задачі виконання процесу КДМБК нової моделі одягу використовується теорія графів. Задання конструктивних перетворень у вигляді графу дозволяє визначити порядок виконання елементів моделювання (шлях графу) та процедуру моделювання (вершини графу).

На основі вивчення елементів КДМБК встановлено, що в основному використовуються три види зміщень ділянок деталей конструкцій при конструктивному моделюванні: плоско-паралельні, плоско-обертальні та мішані.

Використовуючи графоаналітичні прийоми на площині можна виконати такі прийоми конструктивного моделювання, як проектування кокеток, перенос виточок, конічне та паралельне розширення юбок та рукавів, поділ виточок на частини та перетворення їх у складочки, тощо.

Описані види зміщень ділянок деталей конструкції з точки зору аналітичної геометрії [11] розглядаються як перетворення системи координат: паралельне перенесення та поворот.

Паралельне перенесення або зсув на вектор з координатами  $(x, y)$  полягає у додаванні цих координат до координат кожної точки ділянки деталі:

$$\begin{cases} x'_s = x_s + x, \\ y'_s = y_s + y, \end{cases} \quad (1)$$

де  $(x_s, y_s)$  – координати точки до зсуву,  $(x'_s, y'_s)$  – координати точки після зсуву.

Задавши вектор зсуву його довжиною та кутом повороту  $(r, \varphi)$  отримаємо координати вектору зсуву у вигляді:

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi, \\ y = r \sin \varphi. \end{cases} \quad (2)$$

Координати точок при повороті на кут  $\varphi$  проти годинникової стрілки відносно початку координат (рис 1.) перетворюються за законом:

$$\begin{cases} x'_s = x_s \cos \varphi - y_s \sin \varphi, \\ y'_s = x_s \sin \varphi + y_s \cos \varphi. \end{cases} \quad (3)$$

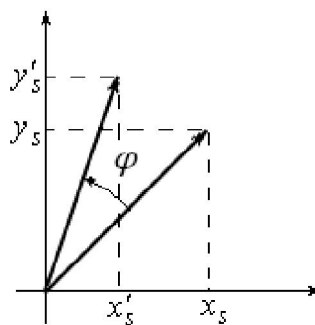


Рисунок 1 – Поворот точки  $(x_s, y_s)$  проти годинникової стрілки на кут  $\varphi$

У випадку коли потрібно повернути точку за годинниковою стрілкою рівняння будуть мати вигляд:

$$\begin{cases} x'_s = x_s \cos \varphi + y_s \sin \varphi, \\ y'_s = -x_s \sin \varphi + y_s \cos \varphi. \end{cases} \quad (4)$$

Щоб здійснити поворот відносно довільної точки  $(x_0, y_0)$  проти годинникової стрілки необхідно зробити зсув, який перенесе цю точку у початок координат  $(x = -x_0; y = -y_0)$ . Після цього потрібно зробити поворот на потрібний кут і знову зробити зсув, який поверне точку  $(x_0, y_0)$  – центр обертання, на місце [12] (рис. 2).

$$\begin{cases} x'_s = (x_s - x_0) \cos \varphi - (y_s - y_0) \sin \varphi + x_0, \\ y'_s = (x_s - x_0) \sin \varphi + (y_s - y_0) \cos \varphi + y_0. \end{cases} \quad (5)$$

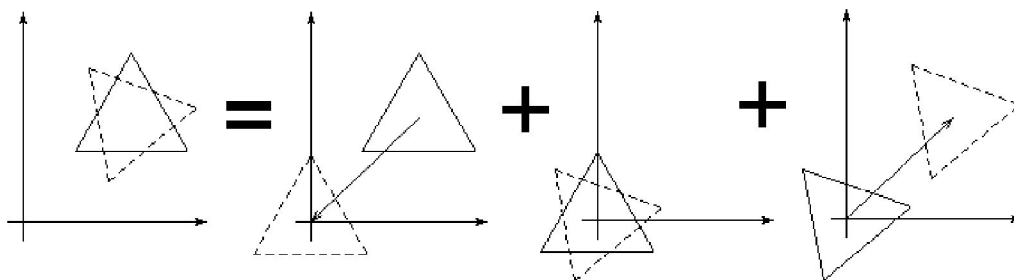


Рисунок 2 – Поворот відносно довільної точки

У випадку коли потрібно повернути точку за годинниковою стрілкою рівняння будуть мати вигляд:

$$\begin{cases} x' = (x - x_0) \cos \varphi + (y - y_0) \sin \varphi + x_0, \\ y' = -(x - x_0) \sin \varphi + (y - y_0) \cos \varphi + y_0. \end{cases} \quad (6)$$

Комбінований метод конструювання базових лекал та алгоритм їх перетворення були реалізовані в інтегрованому середовищі Borland Delphi з використанням ActiveX-компонента графічного редактора Microsoft Visio.

Так, наприклад, алгоритм повороту нагрудної виточки було реалізовано за допомогою функцій `povx`, `povy`:

```
function povx (x,y:real):real ;
begin
  x:=x-rmz;
  y:=y+vg;
  Result:=x*cosa+y*sina+rmz;
end;
function povy (x,y:real):real ;
begin
  x:=x-rmz;
  y:=y+vg;
  Result:=-x*sina+y*cosa-vg;
end.
```

Тут аргументами функцій є координати точки  $(x, y)$  до повороту. Значенням функції `povx`, `povy` відповідно присвоюється координати абсциси та ординати відповідно точки після повороту. А оскільки за початок координат було обрано верхній лівий кут документу Microsoft Visio, то значення координати за віссю ординат відносно точки повороту було взято зі знаком мінус. На рис. 3 зображений приклад перетворення полочки, перенесенням нагрудної виточки у бік.

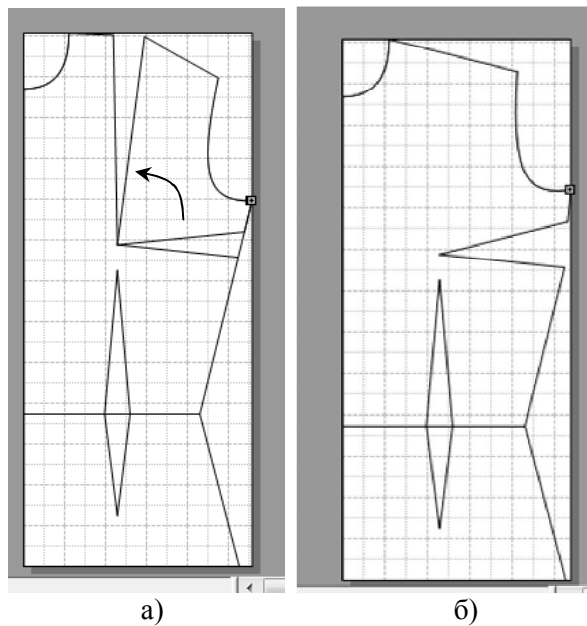


Рисунок 3 – Ілюстрація дії алгоритму перетворення базових лекал: а) до перетворення; б) після перетворення

Дане зміщення відбулося шляхом повороту певних вузлових точок контуру полочки проти годинникової стрілки на кут рівний глибині нагрудної виточки.

**Висновки.** Була описана математична модель перетворення конструкцій одягу, створених на основі комбінованого методу. Дана модель дозволила формалізувати алгоритми основних зміщень ділянок деталей конструкції при конструктивному моделюванні, а саме: плоско-паралельних, плоско-обертальних та мішаних.

Були представлені частини функціонального коду та зображення деяких форм програми, в якій була реалізована розглянута математична модель.

Створення САПР на основі розглянутої формалізації дає перспективу вдосконалення існуючих алгоритмів реалізації, що має вирішити проблеми автоматизованого проектування конструкцій одягу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основы дизайнерского проектирования [Электронный ресурс] / «Эргономические показатели». – Режим доступа : <http://www.dizayne.ru/txt/3sozd0307.shtml>. – 14.01.2015. – Загл. с экрана.
2. Доценко А. Характеристика методов конструирования одежды [Текст] / А. Доценко // Журнал «Технология моды». – 2002. – № 2. – С. 10–12.
3. Kung A. K.-L. Three-dimensional digital method of designing clothes [Electronic resource] / A. K.-L. Kung, A. F. Philippe, G. Mandard. – Available at: <http://google.de/patents>. – 20.08.2014.
4. САПР Одежды [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://sapr-odezda.ru>. – 21.09.2014. – Загл. с экрана.
5. Сафонова Г. Ф. Аналіз існуючих САПР конструювання та моделювання одягу [Текст] / Г. Ф. Сафонова // Збірник наукових праць. Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. – 2013. – Вип. 3 (4). – С. 76-83.
6. Кочесова Л. В. Сравнительный анализ принципов разработки модельных конструкций в различных САПР одежды [Текст] / Л. В. Кочесова // Сборник научных трудов. Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2010. – Вип. 1 (11). – С. 81-84.
7. Сафонова Г. Ф. Порівняльний аналіз методів конструювання одягу з метою подальшої автоматизації [Текст] / Г. Ф. Сафонова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 6, № 4(72). – С. 9-15. doi: 10.15587/1729-4061.2014.29714.

8. Сафонова Г. Ф. Розробка математичної моделі комбінованого методу створення базових конструкцій одягу [Текст] / Г. Ф. Сафонова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – Т. 2, № 4 (74). – С. 9-15. doi: 10.15587/1729-4061.2015.39964.

9. Трутченко Л. И. Автоматизация проектирования изделий и технологических процессов швейного производства [Текст] / Л. И. Трутченко, Е. М. Ивашкевич // курс лекций, УО «ВГТУ» – Витебск : УО «ВГТУ», 2008. – 112 с.

10. Братковская О. Е. Разработка структуры процесса конструктивного моделирования при автоматизированном проектировании одежды [Текст] / О. Е. Братковская // автореферат диссертации на соискание степени к.т.н. – Москва, 1988. – 22 с.

11. Письменный Д.Т. Конспект лекций по высшей математике: полный курс [Текст]: курс лекций/ Дмитрий Трофимович Письменный. – М. : Айрис-пресс, 2006. – 608 с.

## REFERENS

1. Osnovy dizajnerskogo proektirovaniya [Fundamentals of design engineering] Available at: <http://www.dizayne.ru/txt/3sozd0307.shtml> (Last accessed: 14.01.2015) (In Russian).

2. Dotsenko A. Kharakteristika metodov konstruirovaniya odezhdy [Characterization methods for designing clothes] (2002). Zhurnal "Tekhnologiya mody" Publ., vol. 2 pp. 10 – 12 (In Russian), url: <http://fashion-school.narod.ru/alman1.htm>

3. Kung, A. K.-L. Three-dimensional digital method of designing clothes [Electronic resource] / A. K.-L. Kung, A. F. Philippe, G. Mandard. – Available at: <http://google.de/patents>. – 20.08.2014.

4. SAPR Odezhdy [Cad clothes] Available at: [www.sapr-odezda](http://www.sapr-odezda) (Last accessed: 21.09.2014) (In Russian).

5. Safonova G.F. Analiz isnuyuchih SAPR konstruyuvannya ta modelyuvannya odyagu [The analysis of existing CAD of designing and clothes modeling] (2013). Informatsiyi tehnologii in osviti, nautsi that virobnitstvi Publ., Odessa, Ukraine, vol. 3(4), pp. 76 – 83 (In Ukrainian), url: <http://sbornik.college.ks.ua/downloads/sbornik4/pdf/12.pdf>

6. Kochesova L. V. Sravnitel'nyj analiz principov razrabotki model'nyh konstrukcij v razlichnyh SAPR odezhdy [Comparison of the development model in a variety of CAD designs clothes] (2010) Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa Publ., St. Petersburg, vol. 1(11), pp. 81–84 (In Russian), url: <http://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-printsipov-razrabotki-modelnyh-konstruktsiy-v-razlichnyh-sapr-odezhdy>

7. Safonova G. F. Porivnyal'nii analiz metodiv konstruyuvannya odyagu z metoyu podal'shoi avtomatizatsii [Comparative analysis of clothes designing methods in order to further automation] (2014). Skhidno-Єvropeis'kii zhurnal peredovikh tehnologii Seriya: Matematika i kibirnetika – prikladni aspekti Publ., Kharkov, Ukraine, vol. 6/4 (72), pp. 9-15 (In Ukrainian), doi: 10.15587/1729-4061.2014.29714

8. Safonova G. F. Rozrobka matematichnoi modeli kombinovanogo metodu stvorennja bazovih konstrukcij odjagu [Development of a mathematical model of the combined method of creating basic designs clothes] (2015). Skhidno-Єvropeis'kii zhurnal peredovikh tehnologii Seriya: Matematika i kibirnetika – prikladni aspekti Publ., Kharkov, Ukraine, vol. 2/4(74), pp. 9-15 (In Ukrainian), doi: 10.15587/1729-4061.2015.39964

9. Trutchenko L. I., Ivashkevich E. M. Avtomatizacija proektirovaniya izdelij i tehnologicheskikh processov shvejnogo proizvodstva [Computer-aided design and manufacturing processes of clothing production] (2008) Vitebsk, 112 (In Russian).

10. Bratkovskaja O. E. Razrabotka struktury processa konstruktivnogo modelirovaniya pri avtomatizirovannom proektirovanii odezhdy [Development of the structure of the process of

constructive simulation for automated designing clothes] (1988) avtoreferat dissertacii na soiskanie stepeni k.t.n., Moscow, 22 (In Russian).

11. Pis'mennyi D.T. Konspekt lektsii po vysshei matematike: polnyi kurs [Summary of lectures on higher mathematics: a complete course] (2006) M.: Airis-press, 608 (In Russian).

**Сафонова А.Ф., Сафонов М.С., Яковенко А.Е. ФОРМАЛИЗАЦИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ БАЗОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОДЕЖДЫ**

*Результатом синтеза свойств первых расчетно-мерочных, пропорционально-расчетных и антропометрических методов кроя стал комбинированный метод, который имеет следующие основные характеристики: для построений необходимо незначительное количество размерных признаков, формул; учет индивидуальных особенностей фигуры, антропометричность и эстетичность результата; простота построений и читаемость чертежей; качественная посадка изделия на фигуру. Описана математическая модель преобразования конструкций одежды, созданных на основе комбинированного метода. Данная модель позволила формализовать алгоритмы плоско-параллельных, плоско-вращательных и смешанных смещений участков деталей конструкций при конструктивном моделировании. Описанные виды смещений с помощью аналитической геометрии были рассмотрены как преобразование системы координат: параллельный перенос и поворот. Представлены части функционального кода и изображения некоторых форм программы, в которой была реализована рассмотренная математическая модель. Создание САПР на основе рассмотренной формализации дает перспективу совершенствования существующих алгоритмов реализации, что должно решить проблемы автоматизированного проектирования конструкций одежды.*

**Ключевые слова:** методы конструирования, базовые лекала, построение чертежей, преобразования конструкций одежды.

**Safonova A. F., Safonov M. S., Yakovenko A. E. Formalization and implementation of the mathematical model of transformation basic designs clothing.**

*The result of the synthesis of the properties of the first settlement and merochnyh proportionally and settlement methods and anthropometric cut was the combined method, which has the following main characteristics: it is necessary for the construction of a small amount of dimensional signs, formulas; taking into account individual features of a figure; aesthetic result; Easily build a readership and drawings; quality planting articles in the figure. The mathematical model of transformation designs clothes that based on the combined method. This model allows formalizing algorithms paralleling plane, plane-rotational displacements and mixed areas of constructions details with the constructive simulation. Described kinds of shifts using analytic geometry were considered as the transformation of the coordinate system: parallel translation and rotation. Presented part of the function code and the images of some forms of the program, which was implemented mathematical model considered.*

**Keywords:** design methods, basic patterns, construction drawings, structural transformation of clothes.

© Сафонова Г.Ф., Сафонов М.С., Яковенко О.Є.

Статтю прийнято  
до редакції 3.06.15

## СПОСОБ ВЕРИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОАГРЕГАТНОЙ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИЕЙ

*Шевченко В.А.*

*Одесская национальная морская академия*

*В работе предложен способ верификации функциональных алгоритмов системы управления судовой многоагрегатной электрической станцией. Построен граф состояний электростанции. Даны примеры описания состояний станции и условий перехода между ними.*

*Получена логическая схема алгоритма функционирования одного из блоков станции. Предложен способ задачи очередности пуска генераторных агрегатов из резерва.*

**Ключевые слова:** многоагрегатная станция, генераторный агрегат, алгоритм, верификация, граф, логическая схема алгоритма.

**Введение.** На современных специализированных и пассажирских судах с целью обеспечения надежности электрического снабжения и по критериям экономичности используются многоагрегатные электрические станции. Так, например, на пассажирских судах с электродвижением электрическая станция состоит не менее, чем из шести генераторных агрегатов (ГА). Поэтому решение задач, связанных с управлением судовыми электрическими станциями при изменении нагрузки и технического состояния агрегатов, является важным [1].

**Актуальность исследований.** Надежность работы судовой электрической станции (СЭС) определяется надежностью работы ее силовой части и системы управления. В свою очередь, надежность работы системы управления СЭС определяется надежностью аппаратной части и программного обеспечения. Совершенствование и той, и другой части требует от разработчиков постоянного внимания [2]. Современные технологии обеспечивают высокую надежность аппаратной части, выпускаемой в виде контроллеров, предназначенных для работы в различных условиях окружающей среды и устойчивых к влиянию вредных технологических процессов. Кроме того, аппаратная часть является «видимой» и доступной как для разработчиков, так и для эксплуатационников, в то время как программная остается «невидимой» и, в большинстве случаев, недоступной в силу ее защищенности конкретными производителями. В этой связи разработку программного обеспечения для каждого отдельного объекта, ввиду отсутствия программного аналога, приходится начинать при «нулевых условиях», поиском эффективных методов верификации задач и синтеза функциональных алгоритмов.

**Постановка задачи.** Задачей данной статьи является разработка способа верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией с целью обеспечения бесперебойного электроснабжения и повышения экономичности ее работы.

**Результаты исследований.** На первом этапе верификации использован метод графа-автомата [3], который позволяет достаточно наглядно и компактно отобразить совокупность состояний объекта и переходов между ними. Однако сам по себе граф автомата содержит слабо развитую синтаксическую структуру, что затрудняет проверку семантической корректности (полноты и непротиворечивости) формализуемого задания. Указанный недостаток устраняется применением систем булевых функций (функторов) для описания совокупности признаков состояний объекта и условий перехода.

Граф содержит совокупность пронумерованных вершин  $S(N_{STS}) = \bigcup^n S(i)$ ,  $i \in N_{STS}$ ,

$$|N_S| = n \text{ и незапрещенных переходов между ними из множества } \text{JMP}(N_S \times N_S) = \bigcup_{i,j}^{nn}, i \in$$
$$N_{STS}, j \in N_{STS}.$$

Простой функтор в общем случае описывается системой:

$$\begin{aligned}
v_a(t+I) &:= \int_a(x_1(t+I), \dots, x_m(t+I), v_1(t), \dots, v_g(t), y_1(t), \dots, y_p(t)); \\
&\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\
v_i(t+I) &:= \int_i(x_1(t+I), \dots, x_m(t+I), v_g(t), y_1(t), \dots, y_p(t)); \\
y_i(t+I) &:= \int_j(x_1(t+I), \dots, x_m(t+I), \dots, v_g(t), y_1(t), \dots, y_p(t)); \\
&\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\
y_r(t+I) &:= \int_r(x_1(t+I), \dots, x_m(t+I), \dots, v_g(t), y_1(t), \dots, y_p(t)),
\end{aligned} \tag{1}$$

где  $(v_a, \dots, v_i; v_1, \dots, v_g) \subseteq V$ ,  $(y_j, \dots, y_r; u_1, \dots, u_p) \subseteq Z$ , а функции  $f_a, \dots, f_r$  являются булевыми, переменные  $x_1, \dots, x_m; v_1, \dots, v_g; u_1, \dots, u_p$  входными, а  $v_a, \dots, v_i; u_1, \dots, u_r$  выходными функторными переменными.

Сложный функтор в общем случае описывается совокупностью выражений:

$$\begin{aligned}
&v_a(t+I), \dots, v_i(t+I), y_i(t+I), \dots, y_r(t+I) := F_A(x_1(t+I), \dots, x_m(t+I), \\
&v_1(t), \dots, v_g(t), y_i(t), \dots, y_p(t); \\
&\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\
&(v_a(t+I), \dots, v_i(t+I), y_i(t+I), \dots, y_r(t+I) := F_T(x_1(t+I), \dots, x_m(t+I), \\
&v_1(t), \dots, v_g(t), y_i(t), \dots, y_p(t),
\end{aligned} \tag{2}$$

а сложный предикат совокупностью:

$$\begin{array}{l} F_A(x_1(t+I), \dots, x_m(t+I), v_1(t), \dots, v_g(t), y_i(t), \dots, y_p(t)); \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ F_T(x_1(t+I), \dots, x_m(t+I), v_1(t), \dots, v_g(t), y_i(t), \dots, y_p(t)), \end{array} \quad (3)$$

в которых каждая  $F_A, \dots, F_T$  является либо булевой функцией, либо ей соответствует некоторая аппаратная схема с памятью с входными и выходными переменными  $x_{i,m}^-, v_{i,g}^-, y_{i,p}^-, v_a, \dots, v_j$ ;  $y_{j,a}^-$  (последние в случае предиката отсутствуют).

Выражения, входящие в совокупность (1), (2), (3), позволяют перейти к составлению непротиворечивой системы эталонных признаков  $SIGN(P(N_{STS}))$  состояний объекта и переходов  $SIGN(P(N_{STS} \times N_{STS}))$  путем отбора нужных и реальных кодовых комбинаций значений переменных  $X$  и  $V$  с учетом такого требования, как минимум длины слова-признака при условиях достаточности и непротиворечивости. Непротиворечивость проверяется попарным сравнением слов-признаков, а противоречия устраняются доопределением из имеющегося числа переменных и предикатов, либо, если не удастся, то введением новых, дополнительных переменных.

Задача управления составом ГА связана с такими критериями, как экономичность, надежность бесперебойного электроснабжения в нормальных и аварийных ситуациях. При рассмотрении критерия экономичности, так или иначе, возникает задача выбора рациональной очередности включения/отключения ГА для данного режима работы и технического состояния агрегатов.

Будем считать, что в управляющей системе предусмотрен задатчик, с помощью которого можно задать любую последовательность (очередность)  $SQ(F) \in SQ(N_{SQ})$ , взятую из упорядоченного, пронумерованного множества  $SQ(N_{SQ})$  всех возможных последовательностей. Тогда, если в ЦЭС установлены  $m$  генераторов  $|GA| = m$ , то множество очередностей составит  $|SQ(N_{SQ})| = m!$ , т.е. с ростом  $m$  число очередностей быстро возрастает. Поэтому в современных ЦЭС не стремятся к получению всей

размерности  $m!$ , поскольку это является избыточным с точки зрения затрат ресурсов производительности вычислительной техники и усложнением управляющей программы. В связи с этим при отборе элементов подмножества  $SQ(F) \in SQ(N_{SQ})$  руководствуются тем, чтобы была обеспечена возможность постановки каждого ГА в любую очередь. Для этого вполне достаточно располагать последовательностями объемом  $|SQ(F)| = m$ :

$$\left| \begin{array}{c|c} \begin{array}{l} SQ(1) \\ SQ(2) \\ SQ(3) \\ \dots\dots\dots \\ SQ(m-1) \\ SQ(m) \end{array} & \begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & \dots & \dots & \dots & & m \\ 2 & 3 & 4 & \dots & \dots & m & 1 & \\ 3 & 4 & 5 & \dots & m & 1 & 2 & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m-1 & m & 1 & 2 & \dots & \dots & m-2 & \\ m & 1 & 2 & \dots & \dots & m-2 & m-1 & \end{array} \end{array} \right| \cong \quad (4)$$

Синтез алгоритма задания очередностей (4) вызывает меньше трудностей, чем синтез полноразмерного алгоритма, поскольку можно обойтись выбором текущей  $SQ(i)$  последовательности среди  $m$  последовательностей.

Для перехода к описанию при помощи графа-автомата необходимо определить количество состояний объекта и технологического процесса. Количество состояний СЭС, в первую очередь, определяется количеством ГА в ней.

В качестве примера верификации приведем формализацию алгоритма функционирования трехагрегатной электрической станции, принцип которой может быть использован при формализации алгоритмов СЭС с любым количеством ГА.

Для системы трехагрегатной СЭС номера состояний имеют следующие значения: 1 – работает под нагрузкой один ГА( $k$ ); 2 – к ГА( $k$ ) синхронизируется ГА( $l$ ); 3 – ГА( $k$ ) и ГА( $l$ ) работают в параллели; 4 – ГА( $k$ ) и ГА( $l$ ) распределяют нагрузку; 5 – ГА( $l$ ) сбрасывает нагрузку на ГА( $k$ ); 6 – к ГА( $k$ ) и ГА( $l$ ) синхронизируется ГА( $m$ ); 7 – ГА( $k$ ), ГА( $l$ ) и ГА( $m$ ) работают в параллели; 8 – ГА( $k$ ), ГА( $l$ ) и ГА( $m$ ) распределяют нагрузку; 9 – ГА( $m$ ) сбрасывает нагрузку на ГА( $k$ ) и ГА( $l$ ); 10 – СЭС обесточена.

Каждая вершина графа  $GR(i) \in GR(N_{GR})$ ,  $i \in N_{GR}$  сопоставима с вполне определенным предикативным состоянием  $LC(i) \in LC(N_{LC})$ , где  $N_{GR}$  и  $N_{LC}$  – нумерации, взаимно связанные однозначным соответствием  $|N_{GR}| = |N_{LC}| = 10$ . Например, если в параллели работают два ГА, нагрузка не перераспределяется и не происходит ее сброс, то только один предикат должен быть истинным  $LC(3) = И$ , а остальные – ложными. Под термином «предикативные состояния» понимается система предикатов, лишенных парадоксов в том смысле, что каждое состояние должно описываться отличным от другого, полным и непротиворечивым набором слов-признаков, а для установления состояния STS должен существовать вполне определенный алгоритм. В таком случае граф состояний трехагрегатной СЭС примет вид (рис. 1):



где SBINP, SBCNT, SBLD, SBOVL – подпрограммы ввода данных процесса, счета количества подключенных к шинам ГА, измерения нагрузки, выполнения операций разгрузки при перегрузках соответственно;  $LD(m, k, l)$  – нагрузка каждого из трех работающих ГА;  $\varepsilon$  – допустимое отклонение нагрузки у работающих в параллели ГА; JBSBLSH – переход на подпрограмму распределения нагрузки генераторов; WRNOLC – запись в память неопределенного состояния; DOP – запрос на принятие решения оператором.

**Выводы.** В работе предложен способ верификации функциональных алгоритмов системы управления судовой электрической станцией. Верификация состоит из трех этапов: построение графа состояний; описание при помощи переключательных функций состояний системы и условий переходов между ними; синтез логических схем алгоритмов работы системы управления СЭС.

Сочетание графа-автомата и ЛСА является функционально полным набором верификации для программиста, достаточный для разработки программного обеспечения с учетом спецификации аппаратной части.

Рассмотренные функциональные алгоритмы системы управления СЭС являются своеобразным фундаментом, на котором целесообразно строить алгоритмы оптимизации, толерантного к неисправностям и адаптивного управления, а также алгоритмы работы локальных подсистем СЭС. В этой связи, на наш взгляд, дальнейшие исследования целесообразно посвятить разработке алгоритмов управления электрической станцией по таким критериям, как наработка часов, удельный расход топлива и техническое состояние ГА.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головки С. В. Моделирование автоматической системы управления судовой электростанции с учетом состояния оборудования / С. В. Головки // Вестник Астраханского государственного технического университета : научн. журнал. – Вып. 3 – Астрахань, 2014. – С. 58-63.
2. Пипченко А. Н. Проблемы оптимизации судовых электростанций / А. Н. Пипченко, А. А. Толстов. – Л. : Судостроение, 1985. – № 6.
3. Пипченко А. Н. О некоторых методологических аспектах построения рациональных структур микропроцессорных систем в судовой энергетике / А. Н. Пипченко, В. В. Пономаренко // Электрооборудование и автоматизация установок и систем : сб. науч. тр. – Николаев : НКИ, 1988.

## REFERENCES

1. Golovko S. V. Modelirovanie avtomaticheskoyj sistemih upravleniya sudovoyj ehlektrostantsii s uchetom sostoyaniya oborudovaniya / S. V. Golovko // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta : nauchn. zhurnal. – Vihp. 3 – Astrakhanj, 2014. – S. 58-63.
2. Pipchenko A. N. Problemih optimizacii sudovihkh ehlektrostantsiyj / A. N. Pipchenko, A. A. Tolstov. – L. : Sudostroenie, 1985. – № 6.
3. Pipchenko A. N. O nekotoryhkh metodologicheskikh aspektakh postroeniya racionaljnihkh struktur mikroprocessornihkh sistem v sudovoyj ehnergetike / A. N. Pipchenko, V. V. Ponomarenko // Ehlektrooborudovanie i avtomatizaciya ustanovok i sistem : sb. nauch. tr. – Nikolaev : NKI, 1988.

**Шевченко В.А. СПОСІБ ВЕРИФІКАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БАГАТОАГРЕГАТНОЮ СУДНОВОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ**

*У роботі отримано спосіб верифікації функціональних алгоритмів системи управління судновою багато агрегатною електричною станцією. Побудовано граф станів електростанції. Надані приклади опису станів станції та умов переходів між ними.*

*Отримано логічну схему алгоритму функціонування одного з блоків станції. Запропоновано спосіб завдання черговості пуску генераторних агрегатів з резерву.*

**Ключові слова:** багато агрегатна станція, генераторний агрегат, алгоритм, верифікація, граф, логічна схема алгоритму.

**Shevchenko V.A. THE WAY OF VERIFICATION OF SHIP MULTIUNIT ELECTRICAL POWER PLANT CONTROL SYSTEM FUNCTION ALGORITHMS**

*A method of ship multiunit power plant control system function algorithms verification was received in the paper. Power plant state graph was built. An examples of power plant states and its transferring functions were given.*

*The logical diagram of one power plant unit was received. The way of generators starting sequence setting was offered.*

**Keywords:** multiunit power plant, generator set, algorithm, verification, graph, algorithm logical diagram.

© Шевченко В.А.

Статтю прийнято  
до редакції 3.04.15

## ГИБРИДИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

**Шерстюк В.Г.**

*Херсонский национальный технический университет*

*В статье рассмотрены вопросы интеграции подсистем вывода в гибридных динамических сценарно-прецедентных системах. Предложен подход к интеграции подсистем вывода по прецедентам на основе правил и на основе моделей, каждая из которых основана на собственном языке представления знаний. Интегрирующей основой предложенного подхода является использование комплементарных формализмов представления знаний – логического на основе правдоподобной дескрипционной логики и сетевого на основе правдоподобных древовидных сетей событий. Полученная в результате модель гибридной динамической сценарно-прецедентной системы позволяет осуществлять правдоподобный вывод на основе правил, прецедентов и моделей, формируя уместные решения для проблемных ситуаций в реальном времени.*

**Ключевые слова:** сценарно-прецедентная система, хранилище прецедентов, древовидная сеть событий, правила вывода, модель, подсистема вывода, интеграция.

**Введение.** Динамические сценарно-прецедентные системы (ДСПС) поддержки принятия решений предназначены для решения трудноформализуемых задач в слабоструктурированных предметных областях [1]. Их предметные области, как правило, являются сложными динамическими системами (СДС).

Основным преимуществом сценарно-прецедентного подхода перед иными интеллектуальными методами поддержки принятия решений является их способность к интуитивно-эвристическому формированию множества возможных решений при отсутствии полной и адекватной теории предметной области, в том числе в условиях неполноты и неточности исходных знаний о ситуации.

Как показано в [2], в результате поиска прецедентов, подобных текущей (проблемной) ситуации, и производимого далее отбора уместных прецедентов, ДСПС формирует некоторое опорное (базовое) решение, представляющее собой каркасный план действий, решение, которое было использовано ранее для достижения аналогичной цели в некоторой подобной по описанию (опорной) ситуации, связанной с текущей ситуацией отношением сходства (но не эквивалентности).

Непосредственно использовать каркасный план для текущей проблемной ситуации не всегда представляется возможным из-за различия между контекстами опорной и текущей ситуации, что составляет основную проблему для интеллектуальных систем, основанных на прецедентах, решение, апробированное ранее в контексте опорной ситуации, необходимо адаптировать к контексту текущей ситуации. В то же время процесс адаптации решений в СДС представляет собой настолько серьезную проблему, что в некоторых прецедентных системах в силу сложности реализации попросту избегают фазы адаптации решений (нуль-адаптация) [3], следовательно, такие системы выполняют функцию поиска по прецедентам, но не рассуждений по прецедентам, что существенно ограничивает их применимость.

Другой существенной проблемой является ограничение, что методом вывода по прецедентам решение может быть найдено исключительно при условии наличия у ДСПС достаточной для поиска прецедентов накопленной компетенции, т.е. исчерпывающего множества прецедентов, что недостижимо в открытых динамичных предметных областях.

Решение указанных проблем требует использования альтернативных формализмов и методов, имитирующих иные способы принятия решений [4]. В то же время, использование альтернативных методов, основанных на моделях или на правилах, требует наличия полной и адекватной теории предметной области, что нивелирует основное преимущество прецедентного подхода. Использование нелинейных методов, таких как генетические алгоритмы и нейронные сети, не представляется возможным из-за дефицита

времени на принятие решений в открытых динамических предметных областях.

Интеллектуальные системы, в которых для решения задачи используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности ЛПР, принято называть гибридными интеллектуальными системами [5]. Соответственно, гибридизация интеллектуальной системы понимается как процесс интеграции двух или более подсистем, каждая из которых может иметь различные языки представления и методы вывода, при этом подсистемы объединяются вместе семантически и взаимодействуют каждая с каждой [6].

Таким образом, процесс принятия решений в гибридной ДСПС должен рассматриваться с точки зрения взаимосвязи и взаимообусловленности процессов формирования решений на основе различных методов правдоподобного вывода.

Гибридизация ДСПС в конечном счете должна проявиться в синергетическом эффекте от интеграции различных по способу рассуждений подсистем, т.е. эффективность системы должна быть выше, чем каждой из подсистем по отдельности.

**Цель** данной статьи состоит в определении способов гибридизации сценарно-прецедентных систем и формирования интеграционной основы для реализации процессов поиска, адаптации и верификации решений в гибридной динамической сценарно-прецедентной системе.

**Постановка задачи.** В [2] представлена базовая модель ДСПС. В соответствии с [7], правдоподобный вывод в представленной модели ДСПС может производиться не только над прецедентами, но и над иными фрагментами знаний. Так, для представления совокупности прецедентов, накапливаемой в хранилище прецедентов (ХП), предложен формализм правдоподобных древовидных сетей событий (ПДСС), а также комплементарный ему логический формализм, основанный на использовании разрешимых расширений правдоподобной дескрипционной логики.

Известно также, что в ДСПС процесс поиска решений производится с использованием методов вывода по прецедентам, в то время как в процессе адаптации решений целесообразно использовать методы, основанные на правилах, а в процессе верификации решений – методы, основанные на моделях.

Таким образом, в данной работе необходимо рассмотреть вопросы, связанные с построением гибридной ДСПС, совмещающей принятие решений на основе прецедентов с адаптацией решений на системе правил и верификацией решений на модели, а также определением состава и взаимодействия ее подсистем.

Для этого необходимо:

- выявить состав необходимых в ДСПС подсистем;
- исследовать принципы интеграции подсистем в ДСПС;
- формализовать основу для реализации интеграционного механизма;
- построить формальное описание подсистем вывода на основе правил

и моделей.

**Основной материал исследования.** Принятый способ представления знаний в ДСПС может составить интеграционную основу гибридизации ДСПС, необходимую для дальнейшей адаптации и верификации полученного базового решения. Интеграция может объединить подсистемы вывода на прецедентах, на правилах и на моделях [8].

**Интеграционная основа динамических сценарно-прецедентных систем.** Рассмотрим структуры знаний, используемые ДСПС в процессе функционирования [2]. Первый (нижний) уровень ХП составляет ПДСС  $G_1$ , ассоциированная с моделью событий  $E$  и содержащая множество эталонных потоков событий. Второй уровень  $G_2$  содержит ПДСС, представляющую таксономическую структуру контекстов ситуаций.

Важным свойством ПДСС является то, что его узлы  $\theta$  могут представлять не только события или действия, но и другие концепты знаний в виде выражений на языке  $\Lambda$ , в то время как дуги  $\varepsilon$ , соединяющие узлы, выражают частично упорядоченные отношения и соответствуют ролям.

В процессе функционирования ДСПС могут встретиться проблемные ситуации  $s_i$ , для которых в ХП не содержится уместного прецедента. Поскольку решение обязательно должно быть сформировано и предложено ЛПР, независимо от наличия в ХП уместных прецедентов, в случае, если решение не может быть найдено по прецедентам, оно должно быть предложено иным способом.

Следовательно, ДСПС должна содержать, кроме подсистемы правдоподобного вывода по прецедентам, также и подсистемы вывода на основе других методов и принципов.

Определим для ДСПС четыре базовых фрагмента знаний (рис. 1):

- прецеденты (контексты ситуаций – кусты  $G_2$ , решения – кусты  $G_1$ );
- предопределенные правила вывода (антецеденты заданы на множестве вершин  $G_2$ , консеквенты – на множестве вершин и дуг  $G_1 \cup G_2$ );
- адаптационные правила вывода (антецеденты заданы на множестве вершин  $G_2$ , консеквенты – на множестве вершин и дуг  $G_1$ );
- модели (математические, логические и т.д.).

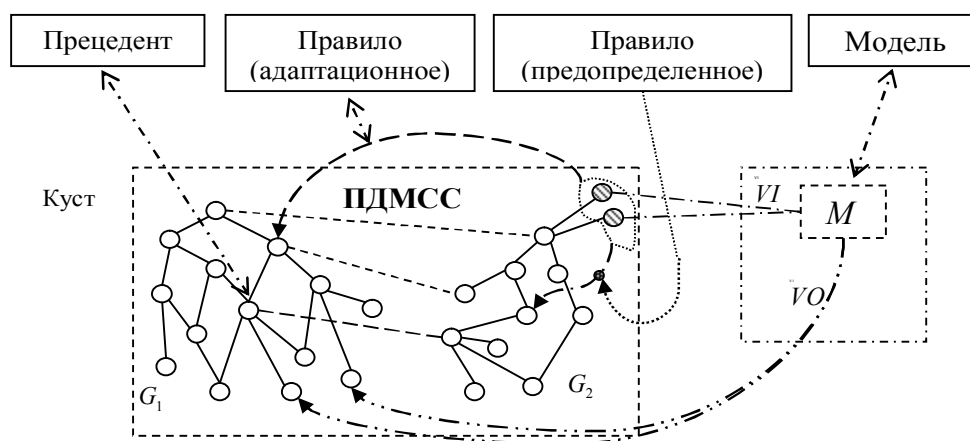


Рисунок 1 – Базовые фрагменты знаний динамической сценарно-прецедентной системы

Соответственно, в структуре ДСПС необходимо выделить (рис. 2):

- 1) подсистему, основанную на прецедентах;
- 2) подсистему, основанную на правилах;
- 3) подсистему, основанную на моделях, из которых первая является основой, а последние две – дополнением.

**Подсистема вывода, основанная на правилах.** Предопределенные правила описывают предметную область  $D$  и формируются экспертами на ситуационно-событийном языке  $\Lambda$  на стадии разработки ДСПС или в процессе ее функционирования (в процессе обновления и пополнения ХП).

Адаптационные правила описывают зависимости конкретных целевых вершин ПДСС  $G_1$  от условий контекста, представленного в ПДСС  $G_2$ , и формируются, главным образом, путем самообучения ДСПС.

Пусть язык представления знаний  $\Lambda$  состоит из языка описания проблем (состояний и ситуаций)  $\Lambda_s \subset \Lambda$  и языка описания решений (планов, сценариев и действий)  $\Lambda_r \subset \Lambda$ , так что  $\Lambda = \Lambda_s \cup \Lambda_r$ . Очевидно, что  $\Lambda_s \mapsto G_2$ ,  $\Lambda_r \mapsto G_1$ .

Правилом  $Z$  будем называть фрагмент знаний, выраженных на языке  $\Lambda$ , состоящий из условия (антецедента)  $X \in \Lambda_s$  и действия (консеквента)  $Y \in \Lambda_r$  и имеющий вид  $X \Rightarrow Y$ . Правило  $Z$  выражает смысл «если истинно  $X$ , выполнить  $Y$ ».

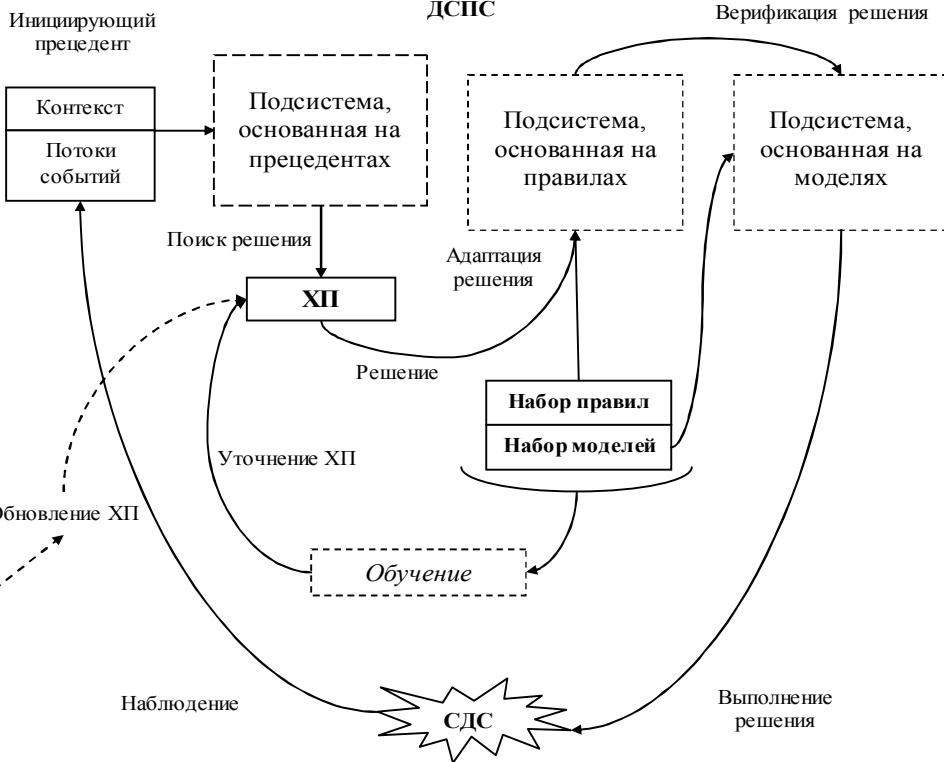


Рисунок 2 – Структура ДСПС

Антецедент  $X$  (а также и консеквент  $Y$ ) может быть представлен в конъюнктивной нормальной форме, т.е. в виде конъюнкции негативных нормальных форм, образованных из формул  $\phi_i \in \Lambda_s$  (соотв.  $\phi_i \in \Lambda_r$ ):

$$\forall \phi_i \quad \sim \phi_i = \phi_i | \neg \phi_i, \quad X = \sim \phi_i \wedge \Box \phi_i \wedge \dots \wedge \Box \phi_m \quad (Y = \sim \phi_k \wedge \Box \phi_l \wedge \dots \wedge \Box \phi_n).$$

Известно [9], что накопление значительного числа правил приводит к возникновению противоречий. Для того, чтобы избежать противоречивости, правила  $Z$  привяжем к тем вершинам  $V_i \in \mathcal{G}$  ПДСС, концепты которых включены в условие правила  $X$ .

Привязка правил к вершинам ПДСС составляет эвристику, основанную на том, что правило  $Z$  может быть активировано лишь в ситуации, описываемой с помощью конъюнкции концептов, составляющей условие  $X$ .

Принцип и методы функционирования интеллектуальных систем, основанных на правилах (продукционных систем), представлены в [10].

Подсистема продукционного вывода работает в четыре фазы:

- фаза сопоставления: производится поиск множества правил, условия которых совпадают с образцом – описанием проблемной ситуации  $S_I$ . В результате формируется так называемое конфликтное множество (допустимых правил);
- фаза разрешения конфликта: используя назначаемые приоритеты и эвристики, из конфликтного множества выбирается непротиворечивое подмножество выполняемых правил;
- фаза выполнения: последовательно выполняются правые части правил, составляющих подмножество выполняемых правил.
- фаза сохранения: в результате выполнения некоторые структуры знаний могут изменяться, например, описание проблемной ситуации. Все изменения переносятся в БЗ для последующего использования.

Благодаря использованию эвристики привязки правил к вершинам, фаза

сопоставления становится не востребованной: в результате того, что вывод на ПДСС приводит к некоторой целевой вершине  $V_i \in \mathcal{G}$ , множество допустимых правил ограничиваются лишь теми правилами, которые лежат в вершинах ПДСС  $V_j \in \mathcal{G}$ , достижимых с помощью дуг  $E_z \in \mathcal{E}$ , таких, что  $E_z(V_i, V_j)$  (т.е. теми правилами, в которых  $X = V_i$ ).

Использование отношения релевантности [7] для установления связи между целевыми вершинами ПДСС  $G_1$  и контекстами ситуаций, хранимыми в ПДСС  $G_2$ , позволяет упорядочить (ранжировать) связи между целевыми вершинами и множествами правил, заданных на них.

Таким образом, фаза разрешения конфликтов становится не востребованной, т.к. правила, относящиеся к вершине  $V_i \in \mathcal{G}$ , в каждый момент времени ранжированы по оценке их релевантности. Соответственно, подсистема вывода ДСПС на основе правил может функционировать в три фазы (рис. 3): выборки, выполнения и сохранения на основе алгоритмов, представленных в [10].

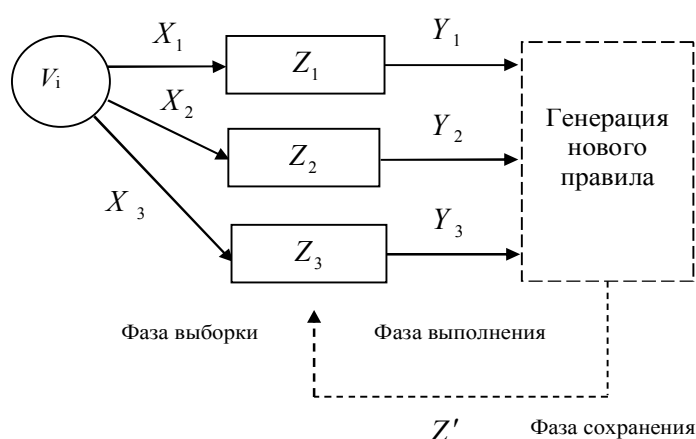


Рисунок 3 – Подсистема вывода на основе правил

**Подсистема вывода на основе моделей.** Понятие модели в ДСПС может быть абстрагировано до понятия функции [11].

Модель  $M$  представляет собой «черный ящик», получающий на входе множество входных переменных  $VI$ , выполняющий за конечное время  $\tau$  над ними некоторые преобразования, и на выходе выдающий результат в виде выходных переменных  $VO$ . Функциональность модели  $M$  может быть задана в аналитической, численной, логической форме и реализована в виде процедуры:

$$f_m(vl)^\tau = vo,$$

где  $vl = VI$  – множество входных параметров;  $vo = VO$  – множество выходных параметров.

Если «черный ящик» допускает наличие состояний, модель может интерпретироваться автоматом. Если одним из параметров является параметр времени, модель является динамической.

Подсистема вывода на основе модели (рис. 4) функционирует в три фазы:

- фаза инициирования сопоставляет каждому из входных параметров  $vl$  процедуры  $f_m$  соответствующей входной переменной  $VI$  модели  $M$ ;
- фаза выхода через промежуток времени  $\tau$  через выходные параметры  $vo$  процедуры  $f_m$  возвращены выходные переменные  $VO$  модели  $M$ .

– фаза сохранения определяет необходимость внесения изменений в описание проблемы и при необходимости сохраняет их.

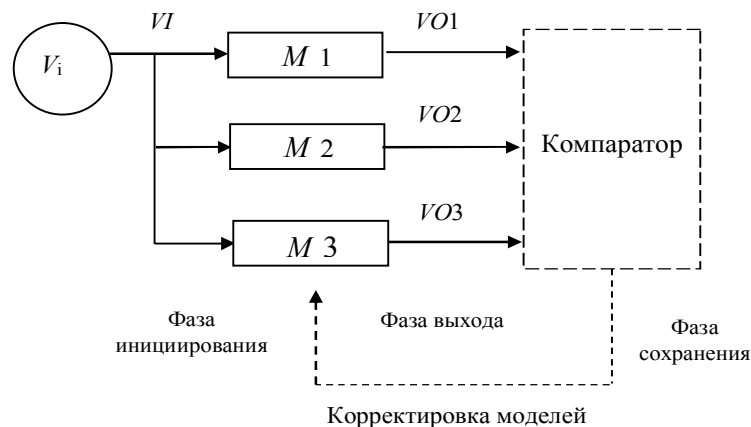


Рисунок 4 – Подсистема вывода на основе моделей

Для вызова процедур моделирования  $f_M$  в процессе функционирования ДСПС язык  $\Lambda$  необходимо дополнить оператором  $\langle \rangle$ , имеющим форму

$$\langle f_M : VI_1, \dots, VI_n [t, \tau] \rangle : VO_1, \dots, VO_m,$$

где  $VI_i$  – входные переменные,  $VO_j$  – выходные переменные,  $\{VI_1, \dots, VI_n, VO_1, \dots, VO_m\} \subseteq P \in \Lambda$ ,  $f_M \in O$  – имя модели,  $t \in T$  – момент времени запуска модели,  $\tau \in T$  – время преобразования в модели множества входов во множество выходов,  $O, T \in \Lambda$ .

Выполнение данного оператора приводит к запуску модели в момент времени  $t$  с установленными входными параметрами  $\{VI_1, \dots, VI_n\}$  и возврату в момент времени  $t + \tau$  значений выходных параметров  $\{VO_1, \dots, VO_m\}$ .

**Реализация гибридной динамической сценарно-прецедентной системы.** Программной реализацией методологии синтеза динамических сценарно-прецедентных систем является система «Муссон» [12], выполненная в среде Windows с использованием языка программирования Visual C++, и представляет собой универсальный каркас (framework) для разработки ядра ДСПС.

ДСПС «Муссон» принимает на входе поток событий, представленных в виде правильно построенных формул ситуационно-событийного языка  $\Lambda(s) \in \Lambda$ , на выходе формируется план решения  $\Pi$  в формате  $\Lambda(r) \in \Lambda$  (рис. 5).

Обмен информацией осуществляется приемом-передачей сообщений в формате xml. В качестве накопителя прецедентов может использоваться источник данных, доступный через стандартные коннекторы ADO и XML, например, Microsoft SQL Server.

Структура системы «Муссон» показана на рис. 6.

ДСПС включает:

- базу знаний;
- процессы, реализующие цикл функционирования (поиска, адаптации, верификации);
- процессы обратной связи (обучения и накопления);
- средства визуального интерфейса разработчика;
- внешний интерфейс к модели совместной активности;
- внешний интерфейс к накопителю прецедентов.

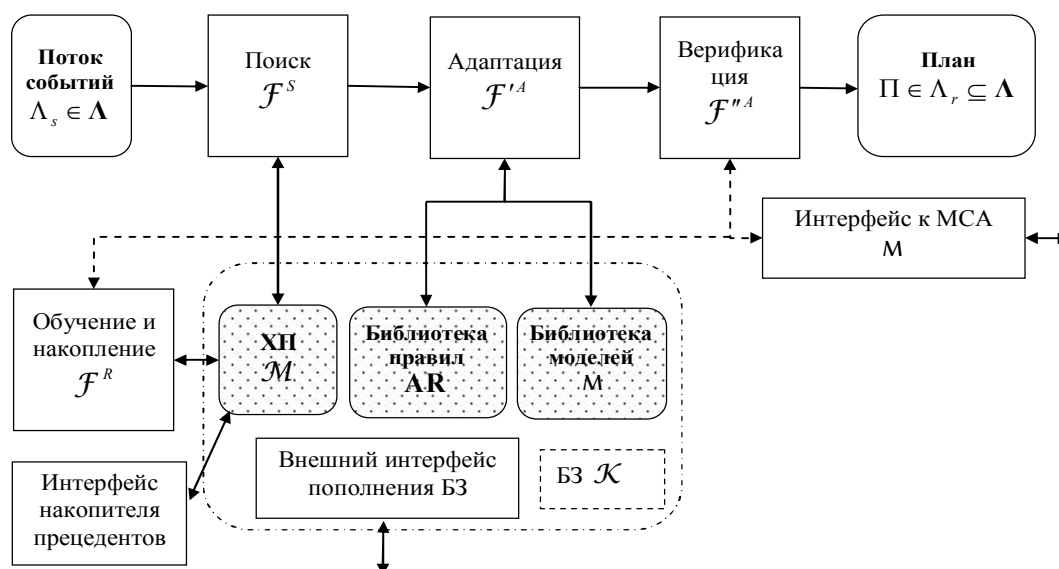


Рисунок 5 – Организация ДСПС «Муссон»

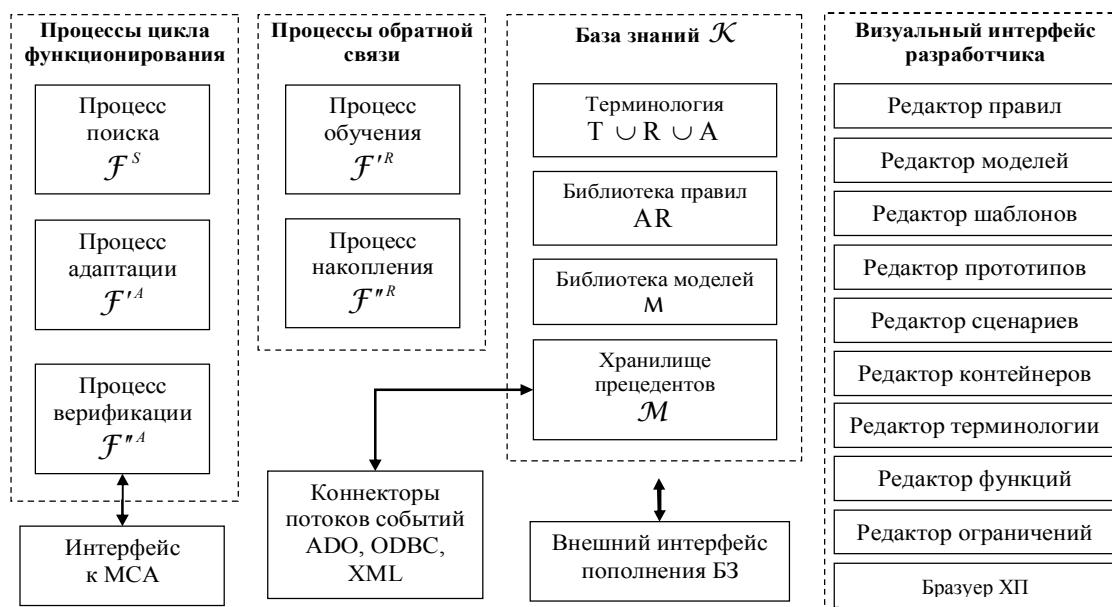


Рисунок 6 – Структура ДСПС «Муссон»

Процессы поиска решений  $\mathcal{F}^S$ , адаптации и верификации решений  $\mathcal{F}^A$ , обучения и накопления прецедентов  $\mathcal{F}^R$  выполнены в соответствии с моделью [2, 3] и взаимодействуют с помощью сообщений.

База знаний позволяет работать со знаниями о предметной области (терминологией), представленными в виде концептов и ролей ПДЛ ( $ABox$ ,  $TBox$ ,  $RBox$ ), прецедентами в ХП  $\mathcal{M}$ , адаптационными правилами в библиотеке правил  $AR$ , моделями в библиотеке моделей  $\mathcal{M}$ .

Хранилище прецедентов  $\mathcal{M}$  представляет собой срез содержимого накопителя прецедентов, соответствующий пространственно-временным ограничениям предметной области и проиндексированный в соответствии с контекстом проблемной ситуации.

Средства визуального интерфейса разработчика позволяют на этапе конфигурации ДСПС задать ряд важнейших ее свойств, в частности описать структуру (шаблон) контекста прецедента, структуру (прототип) решения прецедента, задать используемые функции подобию и оценки уместности, настроить ряд параметров цикла вывода ДСПС.

**Основные результаты и выводы.** Представленный подход к построению гибридных динамических сценарно-прецедентных систем позволяет совместить подсистемы правдоподобного вывода на основе прецедентов, правил и моделей. Интегрирующей основой данного подхода является использование двух комплементарных формализмов представления знаний – логического на основе правдоподобной дескрипционной логики и сетевого на основе правдоподобных древовидных сетей событий, что дает возможность реализации хранилища прецедентов в виде многоуровневой древовидной сети событий, а над элементами знаний, представляющими вершины, дуги и кусты данной сети, организовать правдоподобный вывод на основе правил, прецедентов и моделей.

Предложенный в данной работе подход позволяет учесть специфику открытых динамических предметных областей и обеспечивает работоспособность сценарно-прецедентного подхода без необходимости построения полных и адекватных теорий (моделей) предметной области. Эффективность предложенного подхода позволяет обеспечить функционирование гибридной ДСПС в реальном времени, а значительное усложнение ее структуры компенсируется возможностью автоматической подготовки множества уместных решений для ЛПР в режиме реального времени.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
2. Шерстюк В. Г. Сценарно-прецедентное управление эргатическими динамическими объектами / В. Г. Шерстюк. – Saarbrücken, Deutschland : Lambert Academic Publishing, 2013. – 407 p.
3. Muñoz-Avila, H. Case-Based Plan Adaptation: An Analysis and Review / H. Muñoz-Avila, M. T. Cox // IEEE Intelligent Systems. – 2008. – Vol. 23. – №4. – P.75-81.
4. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М. : Вильямс, 2006. – 1408 с.
5. Гаврилов А. Гибридные интеллектуальные системы / А. В. Гаврилов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2003. – 168 с.
6. Колесников А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А. В. Колесников, И. А. Кириков. – М. : ИПИ РАН, 2007. – 387 с.
7. Шерстюк В. Основы теории динамических сценарно-прецедентных интеллектуальных систем / В. Г. Шерстюк. – Херсон : Феникс, 2012. – 476 с.
8. Castillo O. Hybrid Intelligent Systems: Analysis and Design / O. Castillo, P. Melin. – London : Springer-Verlag, 2006. – 433 p.
9. Поспелов И. Динамическое описание систем продукции и проверка непротиворечивости производственных экспертных систем / И. Г. Поспелов, Л. Я. Поспелова // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1987. – № 1. – С.184-192.
10. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. – М. : Вильямс. – 2001. – 624 с.
11. Ездаков А. Экспертные системы, основанные на моделях / А. Л. Ездаков // Оборонный комплекс научно-техническому прогрессу России. – 2008. – № 3. – С. 24-28.
12. Шерстюк В. Динамический отбор прецедентов в интеллектуальной системе «Муссон» / В. Г. Шерстюк // Искусственный интеллект. – 2012. – №4. – С. 392-403.

### REFERENCES

1. Pospelov D. A. Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika / D. A. Pospelov. – M.: Nauka, 1986. – 288 s.
2. Sherstyuk V. G. Scenarno-precedentnoe upravlenie ehrgaticheskimi dinamicheskimi

objektami / V. G. Sherstyuk. – Saarbrücken, Deutschland : Lambert Academic Publishing, 2013. – 407 p.

3. Munoz-Avila, H. Case-Based Plan Adaptation: An Analysis and Review / H. Munoz-Avila, M. T. Cox // IEEE Intelligent Systems. – 2008. – Vol. 23. – № 4. – P.75-81.

4. Rassel S. Iskusstvenniy intellekt: sovremenniy podkhod / S. Rassel, P. Norvig. – M. : Viljams, 2006. – 1408 s.

5. Gavrilov A. Gibridnihe intellektualnihe sistemih / A. V. Gavrilov. – Novosibirsk : Izd-vo NGTU, 2003. – 168 s.

6. Kolesnikov A. Metodologiya i tekhnologiya resheniya slozhnikh zadach metodami funkcionalnikh gibridnikh intellektualnikh sistem / A. V. Kolesnikov, I. A. Kirikov. – M. : IPI RAN, 2007. – 387 s.

7. Sherstyuk V. Osnovih teorii dinamicheskikh scenarno-precedentnikh intellektualnikh sistem / V. G. Sherstyuk. – Kherson : Feniks, 2012. – 476 s.

8. Castillo O. Hybrid Intelligent Systems: Analysis and Design / O. Castillo, P. Melin. – London : Springer-Verlag, 2006. – 433 p.

9. Pospelov I. Dinamicheskoe opisanie sistem produkcij i proverka neprotivorechivosti produkcionnikh ehkspertnikh sistem / I. G. Pospelov, L. Ya. Pospelova // Izvestiya AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika. – 1987. – № 1. – S.184-192.

10. Dzheksan P. Vvedenie v ehkspertnihe sistemih / P. Dzheksan. – M. : Viljams. – 2001. – 624 s.

11. Ezdakov A. Ehkspertnihe sistemih, osnovanihe na modelyakh / A. L. Ezdakov // Oboronniy kompleks nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. – 2008. – № 3. – S. 24-28.

12. Sherstyuk, V. Dinamicheskij otbor precedentov v intellektualnoy sisteme «Musson» / V. G. Sherstyuk // Iskusstvenniy intellekt. – 2012. – №4. – S. 392-403.

# **Шерстюк В.Г. ГІБРИДИЗАЦІЯ ДИНАМІЧНОЇ СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

*У статті розглянуто питання інтеграції підсистем виведення в гібридних динамічних сценарно-прецедентних системах. Запропоновано підхід до інтеграції підсистем виведення за прецедентами на основі правил і на основі моделей, кожна з яких заснована на власній мові подання знань. Інтегруючою основою запропонованого підходу є використання комплементарних формалізмів подання знань - логічного на основі правдоподібної дескрипційної логіки та мережевого на основі правдоподібних деревовидних мереж подій. Отримана в результаті модель гібридної динамічної сценарно-прецедентної системи дозволяє здійснювати правдоподібне виведення висновків на основі правил, прецедентів і моделей, формуючи доречні рішення для проблемних ситуацій в реальному часі.*

**Ключові слова:** сценарно-прецедентна система, сховище прецедентів, деревоподібна мережа подій, правила виведення, модель, підсистема виведення, інтеграція.

## **Sherstjuk V.G. HYBRIDIZATION OF DYNAMIC SCENARIO-CASE DECISION SUPPORT SYSTEM**

*This article describes the subsystems integration process for hybrid dynamic scenario-precedent systems. An approach is proposed to integration the case-based subsystem, the rule-based subsystem, and the model-based subsystem, each of which is based on his own knowledge representation language. The joint use of such complementary knowledge representation formalisms as the logic one based on plausible description logic and the network one based on plausible tree-like event networks, constitutes the integrating framework of the proposed approach. The result is the hybrid dynamic scenario-case system model, which allows a plausible conclusions based on the rules, cases and models and obtains the relevant solutions for problem situations in real time.*

**Keywords:** scenario-case system, case base, tree-like event network, inference rules, models, inference subsystem, integration.

© Шерстюк В.Г.

Статтю прийнято  
до редакції 07.05.15

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

|                                                                                                                             |                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Акімов О.В., старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки         | Херсонська державна морська академія                                           |
| Бабій М.В., к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки            | Херсонська державна морська академія                                           |
| Білоусов Є.В., к.т.н., доцент, декан факультету суднової енергетики                                                         | Херсонська державна морська академія                                           |
| Бень А.П., к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи                                                          | Херсонська державна морська академія                                           |
| Блах І.В., аспірант кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки                   | Херсонська державна морська академія                                           |
| Богатчук І.М., к.т.н, с.н.с., доцент кафедри нафтогазового технологічного транспорту                                        | Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу             |
| Богатчук М.І., інженер                                                                                                      | Центр нормативно-економічних досліджень ПАТ «Укрнафта», м. Івано-Франківськ    |
| Бондаренко О.В., к.т.н., доцент кафедри теорії та проектування суден                                                        | Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв |
| Борсук С.П., к.т.н., докторант                                                                                              | Національний авіаційний університет, м. Київ                                   |
| Браїло М.В., к.т.н., старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки | Херсонська державна морська академія                                           |
| Волков В.П., д.т.н., професор, завідувач кафедри ТЕСА                                                                       | Харківський національний автомобільно-дорожній університет                     |
| Волков Ю.В., аспірант                                                                                                       | Харківський національний автомобільно-дорожній університет                     |
| Волошинов С.О., к.пед.н., старший викладач кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі                     | Херсонська державна морська академія                                           |
| Вороненко С.В., аспірант кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики                              | Херсонська державна морська академія                                           |
| Гнатов А.В., д.т.н., професор                                                                                               | Харківський національний автомобільно-дорожній університет                     |

|                                                                                                                     |                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Годованюк С.П., старший викладач кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища                    | Херсонська державна морська академія                                           |
| Голіков В.В., д.т.н., професор, проректор з наукової роботи                                                         | Одеська національна морська академія                                           |
| Грицук І.В., к.т.н., доцент                                                                                         | Харківський національний автомобільно-дорожній університет                     |
| Грицук Ю.В., к.т.н., доцент                                                                                         | Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Донецьк           |
| Гусев В.М., аспірант кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища                                | Херсонська державна морська академія                                           |
| Даник В.В., аспірант кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики                          | Херсонська державна морська академія                                           |
| Дєєва О.В., головний спеціаліст з питань кадрової роботи та державної служби відділу забезпечення підготовки кадрів | Державна служба статистики, м. Київ                                            |
| Добротвор І.Г., д.т.н., доцент кафедри економічної кібернетики та інформатики                                       | Тернопільський національний економічний університет                            |
| Євдокимова В.А., к.т.н., асистент кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі                      | Херсонська державна морська академія                                           |
| Іщенко І.М., к.т.н., доцент, професор кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики         | Херсонська державна морська академія                                           |
| Казак В.А., д.т.н., професор кафедри автоматизації та енергоменеджменту                                             | Національний авіаційний університет, м. Київ                                   |
| Казак В.М., магістр                                                                                                 | Національний авіаційний університет, м. Київ                                   |
| Калінчак В.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри теплофізики                                                      | Одеський національний університет імені І. І. Мечнікова                        |
| Кирийчук Д.Л., к.т.н., старший викладач кафедри інформаційних технологій                                            | Херсонський національний технічний університет                                 |
| Клементьєва О.Ю., аспірант кафедри експлуатації судових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки     | Херсонська державна морська академія                                           |
| Коробко В.В., к.т.н., доцент                                                                                        | Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв |

|                                                                                                                                 |                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Круглий Д.Г., к.т.н., доцент кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища                                    | Херсонська державна морська академія                                              |
| Кудрявцева В.Ф., к.пед.н., доцент, професор, завідувач кафедри англійської мови в судноводінні                                  | Херсонська державна морська академія                                              |
| Кулікова Л.Б., д.пед.н., професор, перший проректор                                                                             | Херсонська державна морська академія                                              |
| Лошкар'єв О.Г., старший викладач кафедри економіки та морського права                                                           | Херсонська державна морська академія                                              |
| Лисий А.О., к.т.н., доцент кафедри судноводіння та морських перевезень                                                          | Азовський морський інститут Одеської національної морської академії, м. Маріуполь |
| Ляшенко О.М., к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій                                                                   | Херсонський національний технічний університет                                    |
| Мальцев С.Е., аспірант                                                                                                          | Одеська національна морська академія                                              |
| Московко О.О., аспірант                                                                                                         | Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв    |
| Настасенко В.О., к.т.н., доцент, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки | Херсонська державна морська академія                                              |
| Нефьодов Л.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтергованих технологій                         | Харківський національний автомобільно-дорожній університет                        |
| Петров І.М., к.т.н., доцент, професор кафедри морських перевезень                                                               | Одеська національна морська академія                                              |
| Проценко В.О., к.т.н., доцент, доцент кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки                  | Херсонська державна морська академія                                              |
| Прунько І.Б., к.т.н., доцент кафедри нафтогазового технологічного транспорту                                                    | Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу                |
| Рева О.М., д.т.н., професор, професор кафедри дистанційного навчання                                                            | Національний авіаційний університет, м. Київ                                      |
| Рудакова Г.В., д.т.н., професор кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики                           | Херсонська державна морська академія                                              |

|                                                                                                             |                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Савчук В.Д., к.т.н., с.н.с., професор, начальник науково-дослідної частини                                  | Одеська національна морська академія                                           |
| Савчук В.П., к.т.н., доцент кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки        | Херсонська державна морська академія                                           |
| Сафонова Г.Ф., к.т.н.                                                                                       | Одеський національний політехнічний університет                                |
| Сафонова М.С., к.т.н.                                                                                       | Одеський національний політехнічний університет                                |
| Селіванов С.Є., д.т.н., професор, завідувач кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища | Херсонська державна морська академія                                           |
| Скирденко В.О., к.т.н., асистент кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки             | Херсонська державна морська академія                                           |
| Сокол І.В., к.пед.н., доцент кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища                | Херсонська державна морська академія                                           |
| Соколова Н.А., д.т.н., професор, завідувач кафедри економічної кібернетики                                  | Херсонський національний технічний університет                                 |
| Стовба Т.А., к.е.н., доцент, доцент кафедри економіки та морського права                                    | Херсонська державна морська академія                                           |
| Тимошенко Д.О., аспірант                                                                                    | Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв |
| Тимошенко Н.А., асистент кафедри автоматизації та енергоменеджменту                                         | Національний авіаційний університет, м. Київ                                   |
| Тригуб С.М., к.т.н., доцент, начальник Морського коледжу                                                    | Херсонська державна морська академія                                           |
| Хаєт Л.Г., консультант                                                                                      | Служба спасіння, м. Берлін                                                     |
| Ходаков В.Є., д.т.н., професор завідувач кафедри інформаційних технологій                                   | Херсонський національний технічний університет                                 |
| Хомяков В.Ю., аспірант                                                                                      | Одеська національна морська академія                                           |
| Худяков І.В., аспірант                                                                                      | Херсонська державна морська академія                                           |
| Черненко О.С., к.ф.-м.н., старший викладач кафедри теплофізики                                              | Одеський національний університет імені І. І. Мечнікова                        |

|                                                                                            |                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Шевченко В.А., к.т.н., завідувач кафедри технічної експлуатації суден                      | Одеська національна морська академія                       |
| Шевченко М.В., к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтергованих технологій | Харківський національний автомобільно-дорожній університет |
| Шерстюк В.Г., д.т.н., професор кафедри інформаційних технологій                            | Херсонський національний технічний університет             |
| Шишкин О.В., к.т.н., доцент                                                                | Одеська національна морська академія                       |
| Яковенко О.Є., к.т.н., доцент, директор Політехнічного коледжу                             | Одеський національний політехнічний університет            |

## ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

### А

Акімов О.В., 180

### Б

Бабій М.В., 226  
Білоусов Є.В., 244  
Бень А.П., 4, 180  
Білий Л.М., 180  
Білий О.Л., 174  
Блах І.В., 58  
Богатчук І.М., 158  
Богатчук М.І., 158  
Бондаренко О.В., 10  
Борсук С.П., 281  
Брайло М.В., 180

### В

Волков В.П., 252  
Волков Ю.В., 252  
Волошинов С.А., 108  
Вороненко С.В., 215

### Г

Гнатов А.В., 188  
Годованюк С.П., 20  
Голіков В.В., 29  
Грицук І.В., 252  
Грицук Ю.В., 252  
Гусєв В.М., 198

### Д

Даник В.В., 215  
Дєєва О.В., 116  
Добротвор І.Г., 208

### Є

Євдокимова В.А., 116

### І

Іщенко І.М., 215

### К

Казак В.А., 220  
Казак В.М., 220  
Калінчак В.В., 233  
Кирийчук Д.Л., 263  
Клементьєва О.Ю., 226  
Коробко В.В., 36  
Круглий Д.О., 132  
Кудрявцева В.Ф., 139  
Кулікова Л.Б., 148

### Л

Лошкарьов О.Г., 43  
Лисий А.О., 51  
Ляшенко О.М., 263

### М

Мальцев С.Е., 29  
Московко О.О., 36

### Н

Настасенко В.О., 58  
Нефьодов Л.І., 270

### П

Паламарчук І.В., 4  
Петров І.М., 68  
Проценко В.О., 226  
Прунько І.Б., 158

### Р

Рева О.М., 281  
Рудакова Г.В., 180

### С

Савчук В.Д., 81  
Савчук В.П., 244  
Сафонова Г.Ф., 290  
Сафонов М.С., 290  
Селіванов С.Є., 198, 233

Скирденко В.О., 180  
Сокол І.В., 108  
Соколова Н.А., 165  
Стовба Т.А., 43

### Т

Тимошенко Д.О., 36  
Тимошенко Н.А., 220  
Тригуб С.М., 108, 233

### Х

Хаєт Л.Г., 116  
Ходаков В.Є., 165  
Хомяков В.Ю., 81  
Худяков І.В., 244

### Ч

Черненко О.С., 233

### Ш

Шевченко В.А., 90, 296  
Шевченко М.В., 270  
Шерстюк В.Г., 302  
Шишкін О.В., 96

### Я

Яковенко О.Є., 290

## ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

До друку приймаються статті з результатами власних оригінальних досліджень, що мають наукову і практичну значущість і не публікувалися досі. До друку не приймаються суто оглядові статті. Відповідальність за зміст статті несе автор.

Згідно з вимогами п. 3 Постанови Президії Вищої Атестаційної Комісії України № 7-05/1 від 15.01.2003 р., наукові статті, що надаються до друку, повинні містити наступні елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які посилається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки щодо даного дослідження та перспективи подальших наукових досліджень у даному напрямку.

*Обсяг статей* – до 10 сторінок, включаючи всі матеріали, у т. ч. таблиці, рисунки, графіки та список літературних джерел. Сумарний обсяг рисунків і таблиць повинен бути не більше 30% обсягу основної частини.

*Оформлення статті.* На першій сторінці рукопису зазначається код УДК, назва роботи, прізвище, ініціали та науковий ступінь (звання) автора(ів).

*Код УДК* – по лівому краю, розмір шрифту – 10.

*Назва* – по центру друкованими літерами (шрифт жирний, розмір шрифту – 14).

*Інформація про автора(ів):* прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання, повна назва установи або громадської організації, посада, держава, ORCID автора – курсивом, по лівому краю, розміром шрифту 12.

*Текст* надається у форматі редактора MS Word шрифтом Times New Roman, розмір шрифту – 12, інтервал – 1.

Параметри сторінки (опція меню ФАЙЛ, Параметри сторінки):

розмір паперу – А4: 210\*297 мм;

орієнтація аркуша – книжна (альбомна не допускається);

поля – 2 см;

палітурка – 0 см;

колонитули – 1,3 см;

абзацний відступ – 1,25 см, вирівнювання за шириною, сторінки без нумерації.

*Формули* повинні бути набрані за допомогою вбудованого редактора формул Equation Editor. Всі формули вставляються в таблицю з неокресленим контуром, що складається з двох колонок: у першій знаходиться формула без абзацу і вирівняна по центру, у другій – номер формули (якщо такий є) теж без абзацу і з вирівнюванням по центру. Межа між колонками таблиці встановлюється на позначці 14 см.

Це стосується також формул і символів формул, які стоять по тексту. Параметри в редакторі формул повинні в точності відповідати наведеним нижче. Розміри (опція меню редактора Equation Editor: РОЗМІР, Визначити ...):

- Звичайний 12 пт.
- Крупний індекс 7 пт.
- Дрібний індекс 5 пт.
- Крупний символ 18 пт.
- Дрібний символ 12 пт.

Таблиці набираються у Microsoft Word.

Рисунки повинні бути чорно-білими, бажано прозорими, і вставлені у файл і роздруківку статті. Формат рисунків (tif, psx, bmp тощо) повинен бути сумісний з редактором тексту Microsoft Word. Роздільна здатність рисунків – не менше 300 dpi.

*Структура статті:* вступ (постановка задачі або проблеми); рішення задачі (мета, задачі, об'єкти, предмети, методи дослідження); основні результати та висновки з перспективами; список використаних літературних джерел. Основні розділи можуть мати назви, відмінні від приведених вище найменувань.

*Список використаної літератури* подається загальним списком у кінці рукопису (послідовність – у порядку згадування по тексту) згідно зі встановленими вимогами стандарту ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. У списку повинно бути не менше 10 джерел, у списку посилань неприпустимо використання ГОСТів та загальнонаціональних стандартів, відсоткове співвідношення самоцититування – не більше 30% (тобто якщо Ви використали 10 посилань, з них може бути не більше 3 на роботи автора).

До статті також наводиться перелік літератури латиницею (*References*), для його оформлення використовувати АРА-стиль. Список літератури транслітерується або перекладається англійською мовою. Транслітерувати інформацію необхідно відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 27.01.2010 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» (транслітерацію української мови можна здійснити за посиланням <http://translit.kh.ua> [обрати стандарт: Паспортний (КМУ 2010)]). Транслітерувати джерела, яки пишуться латиницею не потрібно.

*Структуровані анотації* українською, російською та англійською мовами обсягом від 100 до 250 слів надаються: на мові оригіналу статті перед вступом, на двох інших мовах – після тексту статті. У кінці анотацій наводяться ключові слова.

*Документи, що подаються до редакції.*

Для публікації автор повинен надати до відділу технічної інформації ХДМА:

- Комп'ютерний варіант статті – файл, набраний у редакторі Microsoft Word;
- файл кожного рисунка, включеного в статтю, окремо;

– рукопис статті (на паперовому носії), підписаний автором(ами) – 2 примірники.

Крім тексту статті автором(ами) надаються:

– структурована анотація та ключові слова українською, англійською і російською мовами, включаючи назву статті та прізвища авторів трьома мовами – на окремій сторінці;

– зовнішня рецензія професора, доктора наук (редакційна колегія залишає за собою право направляти статті на додаткову рецензію);

– ліцензійний договір;

– відомості про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, вчений ступінь, вчене звання, місце роботи, посада, домашня або службова адреса, контактний телефон, e-mail, наукові інтереси авторів, ORCID автора(ів)) – на окремій сторінці.

Редакційна колегія залишає за собою право як не публікувати роботи у разі їх відхилення, так і приймати рішення щодо їх відповідності напрямом журналу. Рукописи авторам не повертаються.

## ЗМІСТ

### МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ<br/>В СУДОВОЖДЕНИИ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЕГО ВЛИЯНИЯ</b><br><i>Бень А.П., Паламарчук И.В.</i>                   | 4  |
| <b>АНАЛІЗ ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ ТА КОНСТРУКТИВНИХ<br/>ОСОБЛИВОСТЕЙ СУДЕН ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ<br/>ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК</b><br><i>Бондаренко О.В.</i> | 10 |
| <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СУДНА<br/>С НЕРАБОТАЮЩИМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ ВЕТРОВОМ ДРЕЙФЕ<br/>В ЧЕРНОМ МОРЕ</b><br><i>Годованюк С.П.</i>                  | 20 |
| <b>АНАЛИЗ ВЕКТОРА СМЕЩЕНИЯ ПУТИ СУДНА ОТ ВЕТРА</b><br><i>Голиков В.В., Мальцев С.Э.</i>                                                               | 29 |
| <b>ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ СУДНОВОЇ ТЕРМОАКУСТИЧНОЇ<br/>СИСТЕМИ РЕГАЗИФІКАЦІЇ LNG ПАЛИВ</b><br><i>Коробко В.В., Московко О.О., Тимошенко Д.О.</i>         | 36 |
| <b>МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАСЧЕТА<br/>СТОИМОСТИ ЛОЦМАНСКОЙ ПРОВОДКИ</b><br><i>Лошкарев А.Г., Стовба Т.А.</i>                                | 43 |
| <b>ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА СУДА<br/>ЛЕДОВОГО КЛАССА КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ</b><br><i>Лысый А.А.</i>                                       | 51 |
| <b>СУЧАСНИЙ СТАН СУДНОВОЇ ГІДРОХВІЛЬОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ<br/>ТА ЙОГО АНАЛІЗ</b><br><i>Настасенко В.О., Блах І.В.</i>                                       | 58 |
| <b>РОЛЬ МОРСКОГО АГЕНТА В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ<br/>ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ<br/>УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ СЭУ</b><br><i>Петров И.М.</i> | 68 |
| <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕНТРА МАССЫ ШТАБЕЛЯ<br/>НАВАЛОЧНОГО ГРУЗА ПРИ НАЛИЧИИ ДИФФЕРЕНТА СУДНА</b><br><i>Хомяков В.Ю., Савчук В.Д.</i>              | 81 |
| <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕХОДА СУДНА НА ЗАДАННЫЙ<br/>КУРС ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАКОНАХ УПРАВЛЕНИЯ</b><br><i>Шевченко В.А.</i>                             | 90 |

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>СТАТИСТИЧЕСКОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ<br/>ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В КАНАЛАХ РАДИОСВЯЗИ<br/>ГМССБ</b> | <b>96</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

*Шишкин А.В.*

### **ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ**

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| <b>ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ</b> | <b>108</b> |
|----------------------------------------------|------------|

*Волошинов С.А., Сокол І.В., Тригуб С.М.*

|                                                                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ КОРАБЛЯ ПОСРЕДСТВОМ<br/>ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ТРЕНИНГА СОВМЕСТИМОСТИ<br/>ЭКИПАЖА</b> | <b>116</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

*Евдокимова В.А., Деева О.В., Хаєт Л.Г.*

|                                                                                                                                                                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ<br/>РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ ПРИ ВИВЧЕННІ<br/>КУРСІВ «ГЛОБАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ ЗВ'ЯЗОК ДЛЯ ПОШУКУ ТА<br/>РЯТУВАННЯ» ТА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДНОВИХ СИСТЕМ РАДІО<br/>ТА СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ»</b> | <b>132</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

*Круглий Д.Г.*

|                                                                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>КОММУНИКАТИВНАЯ МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ МОРСКОМУ<br/>АНГЛИЙСКОМУ ЯЗЫКУ КАК ЭЛЕМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ<br/>КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА</b> | <b>139</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

*Кудрявцева В.Ф.*

|                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ПРОВЕДЕННЯ<br/>ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ РОБОТИ ЗА ТЕМОЮ<br/>«ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ РЕАЛІЗАЦІЇ<br/>КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ В СИСТЕМІ СТУПЕНЕВОЇ<br/>ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ» У ХЕРСОНСЬКІЙ<br/>ДЕРЖАВНІЙ МОРСЬКІЙ АКАДЕМІЇ НА 2014-2018 РОКИ</b> | <b>148</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

*Кулікова Л.Б.*

### **РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

|                                                                                                                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НАСТАННЯ МОМЕНТУ<br/>НЕОБХІДНОСТІ ОЧИЩЕННЯ НАКИПУ КОТЛА ПЕРЕСУВНИХ<br/>ПАРОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК НАФТОГАЗОВОГО<br/>ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ</b> | <b>158</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

*Богатчук І.М., Прунько І.Б., Богатчук М.І.*

|                                                                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-<br/>ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С УЧЕТОМ ПРИРОДНО-<br/>КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ</b> | <b>165</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

*Ходаков В.Е., Соколова Н.А.*

### **ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ**

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ОЦІНКА НЕБЕЗПЕКИ ФОРМУВАННЯ ТРІЩИН РІЗНОЇ ФОРМИ<br/>У СФЕРИЧНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТАХ</b> | <b>174</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

*Білий О.Л.*

|                                                                                                                                                    |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ<br/>ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ<br/>СЕУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН</b>                                      | <b>180</b> |
| <i>Брайло М.В., Бень А.П., Скирденко В.О., Рудакова Г.В., Акімов О.В.,<br/>Білий Л.М.</i>                                                          |            |
| <b>СИЛЫ ПРИТЯЖЕНИЯ В УНИВЕРСАЛЬНОМ ИНСТРУМЕНТЕ<br/>МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ РИХТОВКИ</b>                                                                | <b>188</b> |
| <i>Гнатов А.В.</i>                                                                                                                                 |            |
| <b>ВИБРАЦИЯ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ МАЧТЫ</b>                                                                                                        | <b>198</b> |
| <i>Гусев В.Н., Селиванов С.Е.</i>                                                                                                                  |            |
| <b>УМОВИ КОЛИВНОСТІ РОЗВ'ЯЗКІВ ДЕЯКИХ КЛАСІВ<br/>РІВНЯНЬ З ОПЕРАТОРОМ ЛАПЛАСА-БЕЛЬТРАМІ ПРИ<br/>МОДЕЛЮВАННІ ЗАДАЧ В НЕОБМЕЖЕНИХ ОБЛАСТЯХ</b>       | <b>208</b> |
| <i>Добротвор І.Г.</i>                                                                                                                              |            |
| <b>ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА АСИНХРОННЫХ МАШИН<br/>С ФЕРРОМАГНИТНЫМ РОТОРОМ</b>                                                                          | <b>215</b> |
| <i>Ииценко И.М., Вороненко С.В., Данык В.В.</i>                                                                                                    |            |
| <b>СИНТЕЗ ПРЕЦИЗИЙНОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ВЕРТОЛЬОТА<br/>НА РЕЖИМІ ВИСІННЯ НАД ТОЧКОВИМ ОБ'ЄКТОМ</b>                                              | <b>220</b> |
| <i>Казак В.М., Тимошенко Н.А., Казак В.А.</i>                                                                                                      |            |
| <b>ГЕОМЕТРИЧНІ УМОВИ ІСНУВАННЯ МУФТИ З ТОРЦЕВИМИ<br/>КАНАТАМИ ТАНГЕНЦІАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ</b>                                                     | <b>226</b> |
| <i>Проценко В.О., Бабій М.В., Клементьєва О.Ю.</i>                                                                                                 |            |
| <b>ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СКОРОСТЬ<br/>ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИИ УГЛЕРОДА С ВОЗДУХОМ<br/>В ПРОЦЕССЕ ГОРЕНИЯ</b>                                    | <b>233</b> |
| <i>Селиванов С.Е., Тригуб С.Н., Калинин В.В., Черненко А.С.</i>                                                                                    |            |
| <b>ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АМПЛИТУДНЫХ<br/>ОПТОВОЛОКОННЫХ ДАТЧИКОВ</b>                                                                          | <b>244</b> |
| <i>Худяков И.В., Белоусов Е.В., Савчук В.П.</i>                                                                                                    |            |
| <b>ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b>                                                                                                                     |            |
| <b>ОСОБЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ<br/>ТЕХНІЧНОГО СТАНУ І ВИЗНАЧЕННЯ СТАТУСУ<br/>НЕСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В УМОВАХ ITS</b> | <b>252</b> |
| <i>Волков В.П., Грицук І.В., Волков Ю.В., Грицук Ю.В.</i>                                                                                          |            |
| <b>ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КООРДИНАЦИИ В СИСТЕМЕ<br/>ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ<br/>СИТУАЦИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ УПРАВЛЕНИЯ</b>       | <b>263</b> |
| <i>Ляшенко Е.Н., Кирийчук Д.Л.</i>                                                                                                                 |            |

|                                                                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>СИСТЕМНАЯ КОНЦЕПЦИЯ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ<br/>МОНИТОРИНГА РЕГИОНАЛЬНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ</b>                                        | <b>270</b> |
| <i>Нефедов Л.И., Шевченко М.В.</i>                                                                                            |            |
| <b>ВПЛИВ СПЕЦИФІКИ ЗАСТОСУВАННЯ НОРМИ ЕШЕЛОНУВАННЯ<br/>НА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЯВУ РІВНІВ ДОМАГАНЬ<br/>АВІАДИСПЕТЧЕРІВ</b>          | <b>281</b> |
| <i>Рева О.М., Борсук С.П.</i>                                                                                                 |            |
| <b>ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ<br/>ПЕРЕТВОРЕННЯ БАЗОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ОДЯГУ</b>                              | <b>290</b> |
| <i>Сафонова Г.Ф., Сафонов М.С., Яковенко О.Є.</i>                                                                             |            |
| <b>СПОСОБ ВЕРИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ<br/>СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОАГРЕГАТНОЙ СУДОВОЙ<br/>ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИЕЙ</b> | <b>296</b> |
| <i>Шевченко В.А.</i>                                                                                                          |            |
| <b>ГИБРИДИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНОЙ<br/>СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ</b>                                 | <b>302</b> |
| <i>Шерстюк В.Г.</i>                                                                                                           |            |
| <b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ</b>                                                                                                  | <b>311</b> |
| <b>ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК</b>                                                                                                       | <b>316</b> |
| <b>ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ</b>                                                                                        | <b>317</b> |

Науковий журнал

**НАУКОВИЙ ВІСНИК**  
**ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ**

№ 1 (12), 2015

Відповідальний за випуск *Р.Є. Врублевський*  
Технічний редактор *О.Ю. Клементьєва*  
Коректор *В.В. Петренко*  
Друк, фальцювальні-палітурні роботи *В.Г. Удов*

Підписано до друку 26.08.2015. Формат 84×108/32.  
Папір офсетний.  
Ум. др. арк. 24,0. Наклад 100 прим.

Видавець і виготовлювач ХДМА  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4319 від 10.05.2012  
73000, м. Херсон, просп. Ушакова, 20