

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 (18)

Херсон
2018

Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2018. – № 1 (18). – 200 с.

Засновник і видавець – Херсонська державна морська академія

Рекомендовано до друку на засіданні Вченої ради Херсонської державної морської академії (протокол № 14 від 21.06.2018 р.)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

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

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

КУЛИКОВА 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;

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

МАЛИГІН Борис Вадимович, 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., Наказ МОН України № 374 від 13.03.2017 р.)

Журнал індексується українською загальнодержавною реферативною базою даних «Україніка наукова» і 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, 2018

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СУДОВОЖДЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СУДОВ И СОСТАВОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ПЛАВАНИЯ И УСТЬЯХ РЕК ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КООРДИНАТНОГО КУРСОРА ЭКНИС В РЕЖИМЕ ВЫСОКОТОЧНОГО УГЛОМЕРНО- ДАЛЬНОМЕРНОГО УСТРОЙСТВА

Давыдов В. С., к.т.н., доцент, профессор кафедры судовождения и управления судном Государственного университета инфраструктуры и технологий (г. Киев), e-mail: vladimir.s.davydov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7417-2521;

Овчинникова А. И., аспирант кафедры судовождения и управления судном Государственного университета инфраструктуры и технологий (г. Киев), e-mail: nastyonask92@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4121-2336

Проводимые авторами исследования по вопросам повышения безопасности судовождения в прибрежной зоне плавания и устьях рек и анализ последних публикаций по данной тематике позволяют констатировать о том, что основными причинами аварийности судов и составов являются следующие факторы:

- 1. Ошибки судоводителей в учете постоянно растущих инерционно-тормозных характеристик и элементов поворотливости судна. Отсутствие на судах технических устройств, позволяющих учитывать динамику их изменения и после сопоставления ее с текущей дистанцией до навигационных опасностей выдавать рекомендации капитану по управлению судном для удержания его на заданной траектории движения.*
- 2. Отсутствие на судах высокоточных средств контроля их положения на траектории движения относительно надводных и одиночных (риффы, банки) подводных навигационных опасностей с точностью, совместимой с точностью определения их места по ГНСС.*
- 3. Следование судов, обладающих высокой парусностью и осадкой, скоростью, не позволяющей удерживать их на заданной линии пути.*

В статье авторами путем компьютерного моделирования экспериментально подтверждена гипотеза о возможности использования подвижного координатного курсора ЭКНИС в режиме высокоточного угломерно-дальномерного устройства в целях измерения дистанций и пеленгов способом автоматического захвата им различных навигационных объектов.

Ключевые слова: судовождение, прибрежная зона, угломерно-дальномерное устройство, координатный курсор, эксперимент, навигационный объект.

Постановка проблемы и анализ последних исследований и публикаций.

Проблема состоит в том, как показали исследования, проведенные авторами в рамках данной и предыдущих работ [1, 3], а также при анализе последних публикаций и исследований по данной тематике [2, 4, 5, 6, 8, 10], что существует противоречие между знанием высокоточного места судна на траектории его движения с помощью специальных режимов работы ГНСС и недостаточно высокой точностью контроля положения судна относительно навигационных опасностей по пеленгам и дистанциям с помощью судовых РЛС (САРП) и пеленгаторов курсоуказателей. В существующих ЭКНИС не предусмотрены опции или функции, позволяющие реализовать эти возможности высокоточного места судна для измерения направлений и дистанций до навигационных объектов.

Цель статьи. Экспериментальное подтверждение, выдвинутой авторами в 2016 году, научной гипотезы о возможности высокой точности измерения дистанций и пеленгов способом автоматического захвата (и последующего автоматического слежения) подвижным координатным курсором ЭКНИС навигационных объектов, координаты которых имеются (введены) в электронной базе данных ЭКНИС.

Изложение основного материала. Прибрежное и речное судовождение в силу его навигационно-гидрографических и гидрометеорологических особенностей является наиболее сложным этапом плавания судов всех типов. Извилистость судового хода, сильные резко переменные течения в совокупности с малыми глубинами и ограниченными возможностями для контроля места судна на траектории движения относительно оси

судового хода и навигационных опасностей требуют от судоводителей особых навыков в управлении судном и обеспечении его навигационной безопасности плавания. Наиболее сложным в этих условиях является обеспечение судовождения больших составов и крупногабаритных судов. Международной морской организацией (ИМО) предъявляются высокие требования к точности навигационного обеспечения плавания судов на подходах к портам и в прибрежной зоне.

Так, согласно Резолюции А.953(23) – 2003г., местоположение судов при плавании в этих районах должно определяться с погрешностью не превышающей 10 м с вероятностью 95 %. Этими требованиями руководствуются в настоящее время и при плавании в устьях рек при речном судовождении, так как они гарантированы высокоточными дифференциальными режимами работы ГНСС GPS и ГЛОНАСС.

В Украине в 110-мильной зоне действия этих режимов находятся только устьевые участки рек Дунай (ККС о-ва Змеиный) и Днепр (ККС м-ка Одесский). На большем протяжении судоходной части этих и других рек Украины такой возможности нет по причине отсутствия ККС ГНСС на ее материковой части.

Высокоточное знание места судна на траектории его движения с помощью специальных режимов работы ГНСС [5] при недостаточно высокой точности контроля положения судна относительно навигационных опасностей с помощью судовых РЛС (САРП) и пеленгаторов курсоуказателей не является гарантией для безопасного плавания судов и составов в прибрежной зоне и устьях рек.

Основными причинами, которые оказывают влияние на аварийность крупногабаритных судов и составов при плавании в стеснённых прибрежных условиях, являются:

- неточный учёт инерционно-тормозных характеристик и элементов поворотливости традиционными штурманскими и лоцманскими методами, а также местонахождения полюса (центра) поворота в той или иной ситуации;
- отсутствие на судах технических средств, которые позволяли бы прогнозировать наперёд их местонахождение на траектории движения с учётом непрерывно изменяющихся направлений и расстояний до опасных навигационных объектов и их инерционно-тормозных характеристик.

В приведенной на рис. 1 общемировой статистике по АМП около 60 % приходится на прибрежную зону плавания с более чем 2 кратной тенденцией роста за 5 лет [2].

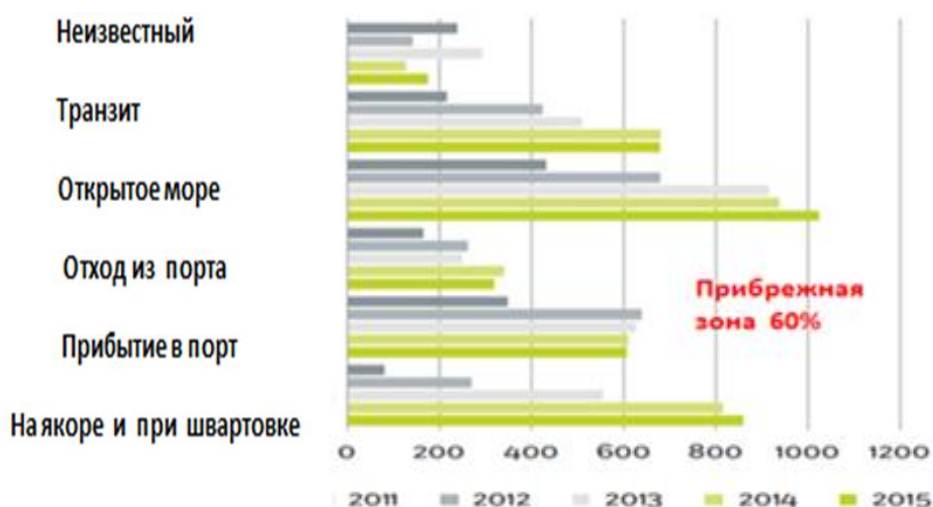


Рисунок 1 – Количество АМП судов мирового флота за 2011–2015 гг. на этапах рейса судов

Несмотря на близость берега, прибрежное судовождение крайне ограничено в высокоточных способах определения места судна по береговым ориентирам.

Использование РЛС, по причине недостаточно высокой точности измерения дистанций, также не гарантирует суда от посадок на мель и касаний грунта.

В табл. 1 приведены, рассчитанные для различных значений шкал РЛС «Furuno» FR-8062 [4], среднеквадратические погрешности (СКП) измерения дистанций и пеленгов относительно точечных и всех прочих ориентиров. Анализ информации показывает, что только на шкалах менее 0,5 мили точность измерения расстояний удовлетворяет требованиям, предъявляемым к точности определения места в прибрежном судовождении, и то только при условии работы по точечным ориентирам.

Таблица 1 – СКП измерения НП с помощью судовой РЛС FR-8062

№ n/n	Рабочая шкала РЛС		Точечные ориентиры (СКП – 1 %D)		Прочие ориентиры (СКП – 3 %D)	
	мили	метры	мДм	мП°	мДм	мП°
1	0,25	463	4,6	1,0	13,8	1,0
2	0,5	926	9,2		27,6	
3	1,0	1852	18,5		55,5	
4	4,0	7408	74,1		222,3	
5	8,0	14816	148,0		444,0	
6	16,0	29632	296,0		888,0	
7	32,0	59264	592,0		1776,0	
8	72,0	133344	1333,0		3999,0	
9	120,0	222240	2222,0		6666,0	

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что на большем протяжении прибрежной зоны плавания и судоходной части рек Украины практически отсутствуют высокоточные способы измерения расстояний и определения места судна, соизмеримые с точностью определения места судна по ГНСС и удовлетворяющие требованиям ИМО.

Способ высокоточного измерения пеленгов и дистанций с помощью координатного курсора, обладающего функцией автоматического захвата навигационных объектов, координаты которых имеются в электронной базе данных ЭКНИС, и автоматического слежения за ними, позволяет измерять расстояния с точностью, соизмеримой с СКП определения места судна в дифференциальном режиме ГНСС и точностью нанесения навигационных ориентиров на навигационные карты.

Способ впервые был предложен авторским коллективом преподавателей кафедры судовождения и управления судном в 2016 г. [1]. В существующих ЭКНИС не предусмотрены дополнительные опции и функции, позволяющие реализовать эти возможности.

Отличительной особенностью данного способа, от применяемых ранее, является то, что контроль нахождения судна на траектории движения происходит с учетом его положения относительно навигационных опасностей по пеленгам и дистанциям от «себя», т.е. от своего высокоточного места.

Особое значение этот способ имеет для крупногабаритных судов и составов при плавании в прибрежной зоне и устьях рек, где определяющим фактором безопасности является точное знание относительного положения оконечностей судна к навигационным и прочим опасностям [3].

Комплексное использование новых возможностей ЭКНИС и системы разнесенных в оконечности судна приемников ГНСС для контроля местоположения носа и кормы судов и составов, относительно навигационных опасностей и ориентиров с помощью подвижного координатного курсора в значительной степени дополнит возможности РЛС и САРП по контролю дистанции, увеличит точность ее определения за счет более точного знания текущих географических координат носа и кормы судна или состава по ГНСС, работающих в спецрежимах.

При точном совпадении координат навигационных ориентиров или реперных точек с координатами концов подвижных координатных курсоров судоводитель получает

с достаточно высокой точностью положение носа и кормы своего судна на траектории движения по пеленгу и дистанции относительно ориентиров или навигационных опасностей в режиме «on-line». Высокоточная координатная привязка конца курсора с объектом, по результатам проведенного эксперимента, моделирующего автоматический цифровой захват объектов, по точности измерения дистанции в 27,8 раза, по точности измерения пеленга в 5 раз превышает точность измерений этих навигационных параметров с помощью обычного ручного визуального совмещения.

Конечные результаты эксперимента, выполненного по 200 итерациям для каждого способа измерения, при расстоянии между судном и навигационным объектом (маяком) в 10 миль приведены в табл. 2.

Таблица 2 – СКП измерения пеленгов и дистанций по результатам эксперимента и с помощью РЛС

Способ измерения	Визуальное ручное совмещение		Координатное ручное совмещение		С помощью РЛС	
	П	Д	П	Д	П	Д
СКП измерения	$\pm 0,25^\circ$	$\pm 95,9$ м	$\pm 0,05^\circ$	$\pm 3,44$ м	$\pm 1,0^\circ$	$\pm 141,3$ м

На основании изложенного можно рассчитывать на то, что при реализации предлагаемого способа в практику судовождения станет возможным измерять расстояние от носа и кормы крупнотоннажных судов и составов до навигационных и прочих опасностей в пределах точности работы специальных режимов ГНСС.

Выводы

1. По результатам проведённого исследования установлено, что измеренные с помощью цифрового координатного курсора ЭКНИС (в режиме имитации автоматического захвата и слежения) расстояния и направления на объекты по точности ($m_0 = 3,44$ м, $m_n = 0,05^\circ$) в десятки раз превышают точность измерения пеленгов и дистанций с помощью РЛС/САРП, вследствие чего могут служить для контроля местоположения судна (носа и кормы) относительно объектов и навигационных опасностей при плавании в прибрежной зоне и в стесненных условиях.

2. До проведения широкомасштабных исследований и натурных испытаний, а также соответствующей доработки ЭКНИС, предлагаемый способ необходимо рассматривать как предложение по созданию дополнительного средства контроля за местоположением судна на траектории его движения в режиме «online».

3. Предлагаемый способ может быть применим при решении следующих высокоточных задач судовождения:

- определения расстояний до навигационных ориентиров, реперных точек, подводных рифов, банок, затонувших объектов и направлений на них;
- вывода судна в точку начала поворота;
- создания «искусственных» створов с помощью реперных точек при плавании вблизи необорудованного побережья и по рекам;
- обеспечения подхода судна к причалу по траектории, задаваемой пеленгом сближения и контроля дистанции до причала в процессе его швартовки.

4. Использование способа автоматического цифрового координатного захвата навигационных объектов и слежения за ними с помощью координатного курсора позволит существенно расширить круг задач, требующих высокоточного координирования, решаемых судоводителем, в целях повышения безопасности судовождения в узкостях и прибрежной зоне плавания. В том числе задачу прогнозирования местонахождения судна (состава) на траектории движения с учётом непрерывно изменяющихся направлений и

расстояний до навигационных объектов (опасностей) и инерционно-тормозных характеристик судов.

5. Надежность данного способа обеспечивается высокими точностными характеристиками ГНСС и высокой вероятностью их безотказной работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов В. С., Демичев В. В., Кожухаренко Р. В., Овчинникова А. И. Повышение безопасности эксплуатации крупнотоннажных судов путем оптимизации использования ЭКНИС. *Водный транспорт*. Київ : КДАВТ, 2016. № 1 (24). С.20–24.
2. Marine Casualties And Incidents. *European Maritime Safety Agency*. 2016.
3. А. с. № 60486. Способ контроля местоположения крупнотоннажных морских судов на траектории движения путем использования системы приемников ГНСС сопряженных с ЭКНИС / Богомья В. И., Давыдов В. С., Кожухаренко Р. В., Демичев В. В. ; опубл. 06.07.2015.
4. Furuno. Руководство пользователя. *Furuno Electric Co. Ltd*. 2014.
5. Точность спутниковых навигационных систем : веб-сайт. URL : <https://seaspirit.ru/navigator/navigation/tochnost-sputnikovyx-navigacionnyx-sistem.html>.
6. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна. 3-е изд., перераб. и доп. Одесса : Феникс, 2007. 328 с.
7. Демиденко П. П. Судовые радиолокационные радионавигационные системы Одесса : ОМНА, 2008. 334 с.
8. Доронін В. В. Радіонавігаційні прилади та системи : посібник для вищих морських навчальних закладів. Київ : КДАВТ, 2007. 472 с.
9. Катенин В. А., Дмитриев В. И. Навигационное обеспечение судовождения. Москва : ИКЦ «Академкнига», 2005. 374 с.
10. Гуреев С. А., Зенкин И. В., Иванов Г. Г. Международное морское право : учеб. пособие. 2-е изд., перераб., доп. Москва, 2011. 432 с.

REFERENCES

1. Davihdov V. S., Demichev V. V., Kozhukharenko R. V., Ovchinnikova A. I. (2016). Povichshenie bezopasnosti ehkspluatacii krupnotonnazhnykh sudov putem optimizacii ispoljzovaniya EhKNIS. *Vodniy transport*. Kyiv : KDAVT, № 1 (24). 20–24.
2. Marine Casualties And Incidents. (2016). *European Maritime Safety Agency*.
3. A. s. № 60486. Sposob kontrolya mestopolozheniya krupnotonnazhnykh morskikh sudov na traektorii dvizheniya putem ispoljzovaniya sistemih priemnikov GNSS sopryazhennykh s EhKNIS / Bogomjya V. I., Davihdov V. S., Kozhukharenko R. V., Demichev V. V. ; opubl. 06.07.2015.
4. Furuno. Rukovodstvo poljzovatelya. (2014). *Furuno Electric Co. Ltd*.
5. Tochnostj sputnikovihkh navigacionnykh sistem : veb-sayjt. URL : <https://seaspirit.ru/navigator/navigation/tochnost-sputnikovyx-navigacionnyx-sistem.html>.
6. Vaguthenko L. L., Cihmbal N. N. (2007). *Sistemih avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem sudna*. Odessa : Feniks.
7. Demidenko P. P. (2008). *Sudovihe radiolokacionnihe radionavigacionnihe sistemih*. Odessa : OMNA. 334.
8. Doronin V. V. (2007). *Radionavigacijni priladi ta sistemi : posibnik dlya vitykh morsjkiikh navchalnykh zakladiv*. Kyiv : KDAVT.
9. Katenin V. A., Dmitriev V. I. (2005). *Navigacionnoe obespechenie sudovozhdeniya*. Moskva : IKC «Akademkniga».
10. Gureev S. A., Zenkin I. V., Ivanov G. G. (2011). *Mezhdunarodnoe morskoe pravo*. Moskva.

Давидов В. С., Овчиннікова А. І. ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ СУДЕН І СКЛАДІВ У ПРИБЕРЕЖНІЙ ЗОНІ ПЛАВАННЯ І ГИРЛАХ РІЧОК ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ КООРДИНАТНОГО КУРСОРА ЕКНІС У РЕЖИМІ ВИСОКОТОЧНОГО КУТОМІРНО-ДАЛЕКОМІРНОГО ПРИСТРОЮ.

Авторами проводяться дослідження з питань підвищення безпеки судноводіння в прибережній зоні плавання і гирлах річок і аналіз останніх публікацій з даної тематики дозволяють констатувати про те, що основними причинами аварійності суден і складів є наступні фактори:

1. Помилки судноводіїв в обліку постійно зростаючих інерційно-гальмівних характеристик і елементів поворотності судна. Відсутність на судах технічних пристроїв, що дозволяють враховувати динаміку їх зміни і після зіставлення її з поточною дистанцією до навігаційних небезпек видавати рекомендації капітану з управління судном для утримання його на заданій траєкторії руху.
2. Відсутність на судах високоточних засобів контролю їх положення на траєкторії руху щодо надводних і одиноких (рифів, банків) підводних навігаційних небезпек з точністю, сумісною з точністю визначення їх місця по ГНСС.
3. Рух суден, що володіють високою парусністю, осадкою й швидкістю не дозволяє утримати їх на заданій лінії шляху.

У статті авторами шляхом комп'ютерного моделювання експериментально підтверджена гіпотеза про можливість використання рухомого координатного курсора ЕКНІС в режимі високоточного кутомірно-далекомірного пристрою з метою вимірювання дистанцій і пеленгів способом автоматичного захоплення ним різних навігаційних об'єктів.

Ключові слова: судноводіння, прибережна зона, кутомірно-далекомірної пристрій, координатний курсор, експеримент, навігаційний об'єкт.

Davydov V. S., Ovchinnikova A. I. THE SAFETY IMPROVEMENT OF LARGE VESSELS NAVIGATION AND CONVOYS IN THE COASTAL SAILING ZONE AND THE EMBOUCHEMENTS OF RIVERS BY USING THE COORDINATE ECDIS CURSOR IN THE MODE OF A HIGH-PRECISION ANGULAR-RANGE-RANGING DEVICE.

The research conducted by the authors on it possible to state that the main factors for the accident of vessels and groups of vessels are the following factors:

1. Skippers of boatmasters in the account of constantly growing inertial-stopping characteristics and elements of turnings ability of ships. The absence on the vessels of technical devices that allow to take into account the dynamics of their changes and after comparing it with the current distance to navigational hazards, issue recommendations to the master for control of the vessel to keep him on a specified trajectory
2. The absence on the vessels of high-precision means of monitoring their position on the trajectory of motion relative to above water dangers and single (reefs, banks) underwater navigation hazards compatible with the accuracy of determining their place in the GNSS.
3. Proceeding vessels that have high sailing and draft and speed that not allow to keep them on a given track. In the article, by the usage of the computer simulating authors experimentally confirmed the hypothesis of the possibility of using the mobile coordinate cursor ECDIS in the mode of a high-precision angular-range-ranging device for measuring distances and bearings by the method of automatically capturing various navigation objects

Keywords: navigation, coastal zone, angular-range-finder device, coordinate cursor, experiment, navigation

© Давидов В. С., Овчиннікова А. І.

Статтю прийнято
до редакції 27.04.18

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОРСКОГО ПОРТА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Зинченко С. Г., к.э.н., доцент Мариупольского института Межрегиональной академии управления персоналом, e-mail: fantomac99@gmail.com

В статье рассмотрена оценка пределов эффективности работы ТТС морского порта в летний период, что важно для анализа развития морского транспорта Украины в целом, в том числе инфраструктуры морских портов в условиях дерегуляции их работы.

Исследованы особенности дерегуляции работы морских портов Украины в летний период на примере Мариупольского порта Восточного региона Украины при перевозках различных видов грузов и различных направлениях грузопотоков, построена графическая модель, демонстрирующая изменения основных показателей работы порта в зависимости от влияния различных факторов в летний период.

Ключевые слова: система, порт, транспорт, дерегуляция, груз, фактор, поле допуска, оценка, эффективность.

Состояние и актуальность вопроса. На работу отечественного морского транспорта при его интеграции в мировые транспортные системы весьма важное влияние оказывают ограничения по пропускной способности портов. При этом функционирование морского порта необходимо рассматривать с позиции его как стратегического объекта Украины, влияющего на ее экономическое и политическое развитие в современных условиях дерегуляции морских перевозок грузов.

Это особенно касается работы порта в летний период, когда увеличиваются грузопотоки агропромышленного комплекса и сравнительно уменьшаются потоки сырья и готовой продукции других видов промышленных производств, на работу которых в данный период оказывают влияние социально-логистические факторы. Такая ситуация приводит к неравномерному использованию в порту природно-энергетических, трудовых и других функциональных ресурсов, что требует детальных исследований для разработки соответствующих рекомендаций.

Постановка проблемы и анализ исследований. На работу морских портов оказывает значительное влияние постоянная дерегуляция номенклатуры и объемов материальных потоков грузов в зависимости от требований потребителей.

Это в определенной мере не зависит от специализации и направлений работы порта. Деревуляция в значительной мере влияет на использование транспортных, складских и погрузочно-разгрузочных средств порта, а также на уровень затрат по поддержанию энерговооруженности порта и защите окружающей среды. При этом усложняется планирование инвестиционных и социальных проектов, мероприятий кластерного регионального развития [1].

Летний сезон работы Мариупольского морского порта характеризуется повышенной нагрузкой на его инфраструктуру, что может спровоцировать отказ отдельных объектов – элементов его системы. В результате ритмичная работа морского порта нарушается, возникают технологические сложности, увеличивается себестоимость грузовых работ, что может в итоге привести к дополнительным простоям судов и грузов, срыву выполнения заказов клиентов порта [2]. Для решения данной проблемы были обработаны материалы сайта Администрации морских портов Украины [3], а также из журналов «Порты Украины» [4]. Математической основой послужили исследования Рихтера К. Ю. [5].

Методологические основы имеют многие публикации, особенно следует выделить современные методы анализа эффективности морских портов (многокритериальный и другие) [6, 7, 8]. Повышение роли науки и образования в обеспечении эффективности деятельности морских портов приводит к реализации уникальных корпоративных стратегий, опыт которых может быть перенесен на национальный уровень [9].

Кроме того, значительное влияние на использование технологий в стратегиях развития морских портов оказывают их размеры, по данным исследований [10, 11, 12].

Цель статьи. Оценить пределы эффективности работы транспортно-технологической системы (ТТС) морского порта Восточного региона Украины в летний период при перевозке различных видов грузов, с учетом направлений грузопотоков, а также влияния на основные показатели работы порта внешних и внутренних факторов.

Основное содержание работы. В социальном плане особенности работы морского порта в летний период заключаются в рациональном распределении нагрузки на персонал, поскольку начинается сезон отпусков. Это характерно для работников, обслуживающих транспортное, погрузочно-разгрузочное, а также складское оборудование порта.

В таких условиях может снижаться качество работы и уровень безопасности труда персонала порта. Вредных воздействий порта на окружающую среду летом меньше, однако, необходимо следить за выбросами пылящих грузов в воздух, в результате чего пыль разносится по территории морского порта, на объекты инфраструктуры, а также на прилегающую жилую зону.

В экономическом отношении увеличиваются затраты на организацию погрузочно-разгрузочных и складских работ, поэтому производятся оперативные изменения технологии работ и соответствующая подготовка надежности технологического оборудования основного производственного процесса порта. Ритмичная работа порта очень важна, поскольку следом за морским портом в процессе дерегуляции потоков грузов нарушаются технологические цепочки других крупных предприятий региона [6].

Дерегуляцию можно представить в виде зоны, описываемой двумя кривыми: оптимистической и пессимистической, которые получены в результате статистической обработки экспериментальных данных по обработке грузов в порту [4].

В процентном соотношении дерегуляция перегрузочных работ в Мариупольском морском порту по основным родам грузов в летний период работы (июнь) для разных лет приведена в таб. 1, построенной по данным [1] и [2]. Выполним анализ тенденции дерегуляции по основным видам грузов, переваливаемых в Мариупольском морском порту в одном месяце – июне в период различных лет (2004–2015 гг.).

Анализ показывает, что объемы перегрузки различных грузов в морском порту в летний период нестабильны. Это влечет за собой значительные простои погрузочно-разгрузочных средств (объектов) порта и неравномерное использование складских площадей (помещений и территорий), а также других объектов инфраструктуры порта. В результате анализа формируются области резерва зависимости величин грузопотока по грузам и направлениям, проходящего через морской порт в летний период за последние годы. Результаты анализа приведены в виде графиков по видам грузов (рис. 1) и по направлениям грузопотоков (рис. 2).

Для математического описания поля допуска в работе порта за определенный месяц по годам, линейно соединим точки грузооборота в годы максимальной загрузки порта в июне (это 2005, 2007, 2011 и 2012) и отдельно точки грузооборота морского порта в годы его минимальной загрузки (2002, 2008, 2009 и 2015 гг.) за аналогичный период – июнь.

Очевидно, что в Мариупольском морском порту по одному месяцу (июнь) различных лет в период 2004-2015 гг. прослеживается очевидная неравномерность в процентном (%) соотношении перегрузки основных видов грузов.

Таблица 1 – Неравномерность в процентном (%) соотношении перегрузки основных грузов в Мариупольском по 2 кварталу (апрель-июнь) различных лет в период 2003-2015 гг.

Вид груза	В % по годам за 2 квартал (апрель-июнь)														
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
Металл	46,3	48,9	52,2	77,3	79,5	87,3	71,2	100,0	77,4	88,1	85,4	93,3	40,1		
Уголь	45,6	74,2	55,8	45,8	54,3	68,2	63,8	100,0	99,3	68,0	53,8	60,1	0,0		
Сера	95,3	100,0	66,8	48,9	27,2	61,5	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Химикаты	100,0	1,3	34,3	73,5	8,3	24,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Строймат.	61,3	62,4	84,1	93,8	94,3	100,0	31,6	69,0	60,4	74,5	74,8	96,2	4,5		
Зерновые	2,2	13,2	34,9	70,4	38,0	39,9	100,0	41,3	37,1	69,2	37,5	79,4	14,0		
Прочие	45,0	90,9	22,8	22,7	88,4	74,9	100,0	18,3	29,5	39,9	24,3	79,2	13,9		
Экспорт	51,6	59,0	63,9	82,7	84,9	93,8	71,1	100,0	83,8	89,3	82,9	97,0	27,3		
Импорт	4,4	0,7	10,1	17,5	13,1	29,0	7,0	10,3	15,7	23,6	12,2	10,7	100,0		
Транзит	100,0	86,5	57,5	85,2	64,1	70,7	30,5	42,8	42,6	36,1	22,6	19,6	0,0		
Каботаж	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0		
ИТОГО	70,7	73,6	70,2	93,1	89,5	100,0	68,9	96,8	83,4	87,1	77,4	88,6	43,9		

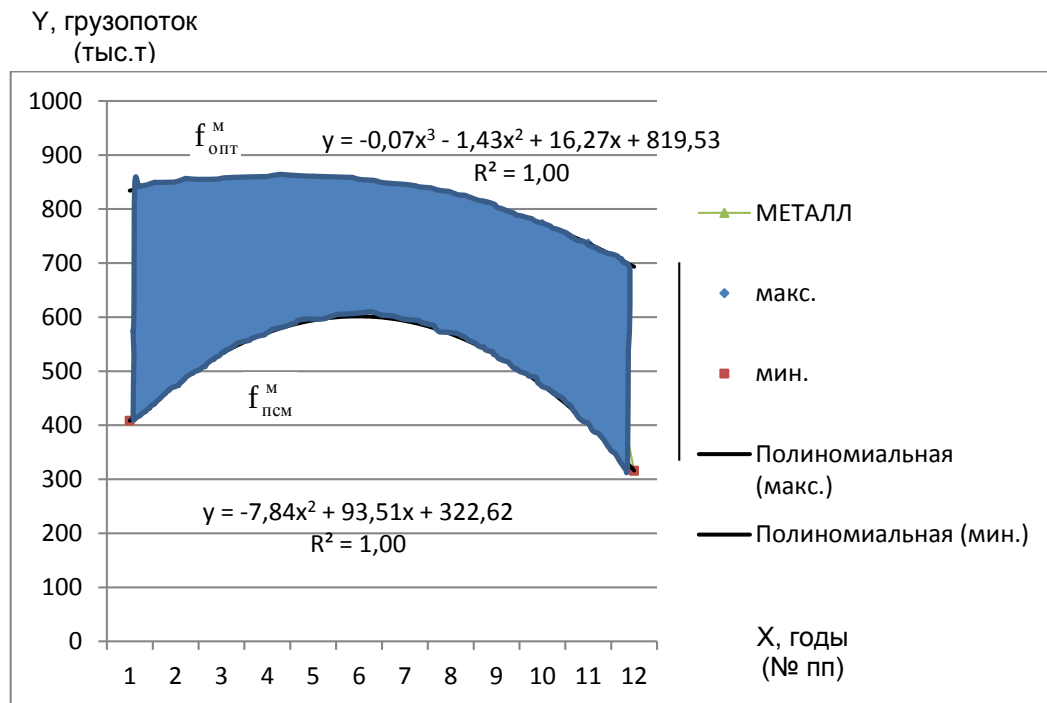


Рисунок 1 – Область резерва зависимости величин грузопотока металла через ТТС порта (т) в летний период (июнь месяц) по годам

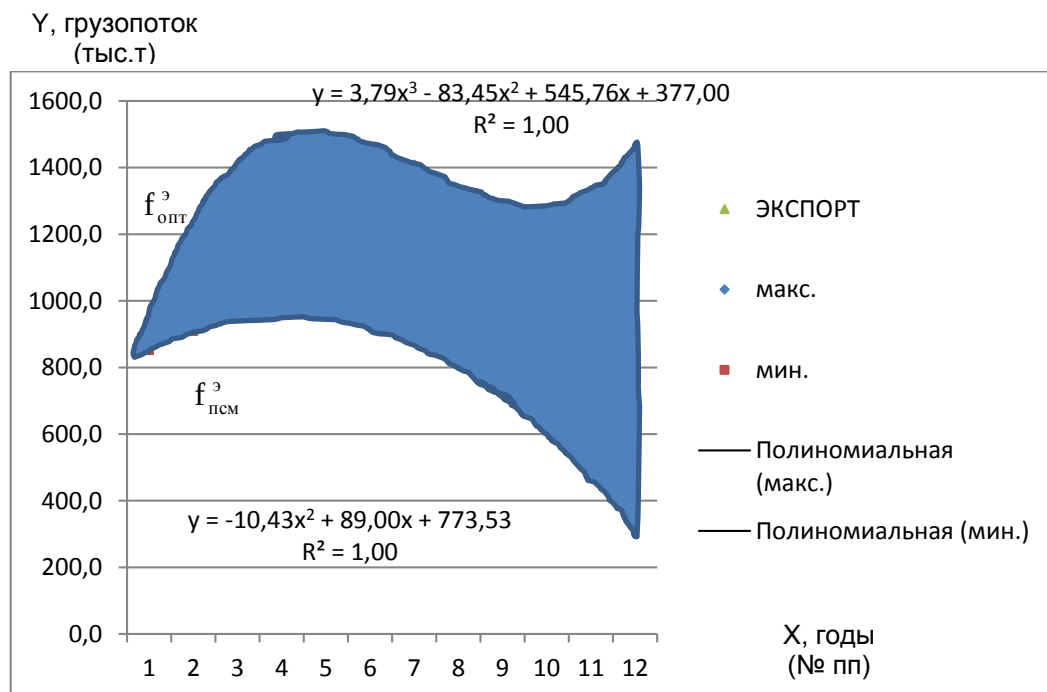


Рисунок 2 – Область резерва зависимости величин экспортного грузопотока ТТС порта (т) в летний период (июнь месяц) по годам

На основе данных работы порта в летний период – июнь за последние 12 лет можно установить границы областей резерва возможных их значений с целью поиска резервов для повышения эффективности работы порта. Рассматриваются две области резервов: по наиболее характерному для порта грузу – металлу (рис. 1) и основному направлению грузопотоков порта – экспорту (рис. 2). Эти поля резерва в полной мере демонстрируют возможности ТТС порта в условиях дерегуляции, повышения или снижения объемов

грузопотоков в летний период, когда в работе порта большую роль играет стабильность и четкая организация работы.

Области очерчены границами: верхней, то есть в годы максимальных грузопотоков, проходящих через ТТС порта в июне, и нижней, в годы с наименьшими грузопотоками морского порта также в июне. Верхняя граница характеризует максимальную загрузку порта и повышенные доходы, поэтому она названа «оптимистической». Аналогично нижняя граница, обусловленная стечением неблагоприятных климатических условий, названа «пессимистической».

Тренды дерегуляционных изменений транспортного предприятия описаны в [3] и в общем виде могут быть заданы в виде полиномиальной функции (1):

$$f(x) = a_1 x^n + a_2 x^{n-1} + \dots + a_n x + a_0, \quad (1)$$

где $a_1, \dots, a_n$ – управляемые основные переменные параметры преобразования графика полиномиальной функции; i – количество степеней, величина точности приближения данных, $i = 1, \dots, n$; a_0 – влияние прочих факторов.

Прогнозные тренды для данных границ областей резерва грузооборота ТТС Мариупольского порта в летний период работы зависят от различных дерегуляционных моментов и имеют следующие виды:

1. Пессимистическая $f_{\text{псм}}^{\text{м}}$ и $f_{\text{опт}}^{\text{м}}$ оптимистическая границы областей резерва грузопотока металла через ТТС морского порта в летний период его работы определяются:

$$f_{\text{псм}}^{\text{м}} = -7,84x^2 - 93,51x + 322,62; R^2 = 1; \quad (2)$$

$$f_{\text{опт}}^{\text{м}} = -0,07x^3 - 1,43x^2 + 16,27x + 819,53; R^2 = 1, \quad (3)$$

где x – величина грузопотока металла, проходящего через ТТС порта в июне по годам.

2. Пессимистическая $f_{\text{псм}}^{\text{э}}$ и оптимистическая $f_{\text{опт}}^{\text{м}}$ границы областей резерва экспортного грузопотока через ТТС морского порта в летний период его работы определяются:

$$f_{\text{псм}}^{\text{э}} = -10,43x^2 + 89,00x + 773,53; R^2 = 1; \quad (4)$$

$$f_{\text{опт}}^{\text{м}} = 3,79x^3 - 83,45x^2 + 545,76x + 377,00; R^2 = 1, \quad (5)$$

где x – величина экспортного грузопотока, проходящего через ТТС порта в июне по годам.

Разрыв между оптимистической и пессимистической границами в областях резерва грузооборота – это резерв в организации ведения грузовой работы всей ТТС морского порта, который необходимо использовать для повышения ее технико-экономической эффективности, надежности эксплуатируемых объектов.

Пределы ресурса эффективности работы ТТС морского порта – это поле допуска его грузооборота, которое можно рассчитать по формуле (6) по виду груза, а также по направлению грузопотока:

$$\int_{t_1}^{t_2} Q_{\text{max}}(t) dt - \int_{t_1}^{t_2} Q_{\text{min}}(t) dt, \quad (6)$$

где Q_{max} – максимальный объем грузоперевозок (q) порта за исследуемый период t ; Q_{min} – минимальный объем грузоперевозок (q) порта за исследуемый период t ; t_1 – время (период) начала наблюдений (1-й год – 2004 г.); t_2 – время (период) окончания наблюдений (12-й год – 2015 г.).

Следовательно, данный интеграл позволяет найти площадь (поле) допустимых значений функции изменения грузооборота порта в пределах от Q_{min} до Q_{max} за время t .

Возможности морского порта ограничены: применяемыми технологиями, основными природно-энергетическими характеристиками выполняемых работ, уровнем квалификации работников, имеющимися у него техническими ресурсами, подтвержденным планом завоза грузов [4].

Очевидно, что все данные ограничения, а также внешнее воздействие со стороны государственных и региональных структур, являются существенным дерегулирующим фактором и источником напряженности в работе морского порта; влияют на его функциональную эффективность, экономическое и социальное развитие, охрану окружающей среды.

Если считать, что площадь рассмотренных областей является относительной мерой оценки работы ТТС морского порта в условиях дерегуляции, тогда величину этой оценки можно выразить:

- в зависимости от грузопотока конкретного вида груза (металла), проходящего через ТТС порта за период:

$$C_{\Gamma\Delta}^M = \int_{M_1}^{M_2} \frac{f_{onm}^M(x)}{f_{псм}^M(x)} dx; \quad (7)$$

– в зависимости от направления грузопотока (экспорт), проходящего через ТТС порта за период:

$$C_{\Gamma\Delta}^M = C_{\Gamma\Delta}^3 = \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \frac{f_{onm}^3(x)}{f_{псм}^3(x)} dx. \quad (8)$$

Указанные области, формируя поле допуска, позволяют прогнозировать дальнейшее развитие ТТС морского порта в условиях дерегуляции, в зависимости от направления грузопотоков и вида перегруженных грузов.

Таким образом, при оценке предельных значений дерегуляционных изменений формируются пределы ресурса эффективности работы ТТС морского порта – математически описанное поле допуска, которое определяет нагрузку на всю транспортную инфраструктуру порта в исследуемый период.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Стабильная работа Мариупольского порта в летний период важна для организации своевременной погрузки и выгрузки грузов для всего Восточного региона Украины, а также является стратегически важной для страны в целом. Оценка пределов эффективности работы ТТС морского порта позволит лучше прогнозировать работу порта в указанный период, четко планировать использование его ресурсов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубовкіна М. Ю., Зінченко С. Г. Інвестування та синергія в транспортних системах морського порту. *Наукові праці МАУП*. 2016. Вип. 50. С. 126–129.
2. Зинченко С. Г. Контроллинг эксплуатации и ремонта объектов транспортно-технологической системы морского порта в условиях дерегуляции перевозки грузов и наличия суброгационного оборудования. Мариуполь : ООО «ППНС», 2017. 160 с.
3. Официальный сайт Государственного предприятия «Администрация морских портов Украины». Раздел «Показатели работы» : веб-сайт. URL : <http://uspa.gov.ua/ru/pokazateli-raboty>
4. Аналитические данные. Одесса, журналы «Порты Украины», 2003-2016.
5. Рихтер К. Ю. Транспортная эконометрия. Москва : Транспорт, 1982. 317 с.
6. Samir Awad-Núñez, Nicoletta González-Cancelasa, Alberto Camarero-Orive. (2014). Application of a model based on the use of DELPHI methodology and Multicriteria Analysis for the assessment of the quality of the Spanish Dry Ports location. *Procedia – Social and Behavioral*

Sciences: XVIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística, 2014. № 162. P.42–50.

7. Wiśnicki Bogusz, Kujawski Artur Multicriteria analysis evaluating Venice port development. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012. № 48. P. 2545–2554.

8. Wiśnicki Bogusz, Kujawski Artur. Conditions for developing a port city transport infrastructure illustrated with the example of Szczecin agglomeration. *Transportation Research Procedia: 2nd International Conference «Green Cities – Green Logistics for Greener Cities», 2–3 March 2016, Szczecin, Poland*. 2016. № 16. P.566–575.

9. Michael Gogas, Giannis Adamos, Eftihia Nathanail. Assessing the performance of intermodal city logistics terminals in Thessaloniki. *Transportation Research Procedia: 3rd Conference on Sustainable Urban Mobility, 26-27 May 2016. Volos, Greece*. 2017. № 24. P. 17–24.

10. Daniela Ambrosino, Anna Sciomachen. Location of mid-range dry ports in multimodal logistic networks. *Procedia - Social and Behavioral Sciences: AIRO Winter 2013*. 2014. № 108. P. 118–128.

11. Vygantas Bagočius, Kazimieras Edmundas Zavadskas, Zenonas Turskis. Multi-Criteria Selection of a Deep-Water Port in Klaipeda. *Procedia Engineering*. 2013. № 57. P.144–148.

12. Ports strategy and logistics challenges: What are the levers for long term vitality? – TDIE Research Council / by Antoine Frémont, Claude Gressier and Pierre Van Cornewal. 56 p. URL: <http://tdie.eu/wp-content/uploads/2017/01/Ports-strategy-and-logistics-challenges-TDIE-report-Oct.-2016.pdf>.

13. Ільницький Д. О., Зінченко С. Г.. Пошук ідеальної моделі транспортно-технологічної системи порту: компетентнісний вимір. *Вісник Одеського національного університету. Серія «Економіка»*. Одеса, 2017. Т. 22. Вип. 5 (58). С. 87–97.

REFERENCES

1. Dubovkina, M. Yu., Zinchenko, S. G. (2016)/ Investuvannya ta sinergiya v transportnikh sistema morskogo portu. *Naukovi praci MAUP*. Vol. 50. P. 126–129.

2. Zinchenko, S. G. (2017). *Kontrolling ehkspluatacii i remonta objhektov transportno-tehnologicheskoyj sistemih morskogo porta v usloviyakh deregulyacii perevozki Грузов i nalichiya sub,rogaciyjnogo oborudovaniya*. Mariupolj : ООО «PPNS». 160 p.

3. Oficialjnihiy sayt Gosudarstvennogo predpriyatiya «Administraciya morskikh portov Ukrainih». Razdel «Pokazateli rabotih» : veb-sayt. URL : <http://uspa.gov.ua/ru/pokazateli-raboty>

4. Analiticheskie dannie. Odessa, zhurnalih «Portih Ukrainih», 2003-2016.

5. Rikhter K. Yu. *Transportnaya ehkonometriya*. Moskva : Transport, 1982. 317 s.

6. Samir Awad-Núñez, Nicoletta González-Cancelasa, Alberto Camarero-Orive. (2014). Application of a model based on the use of DELPHI methodology and Multicriteria Analysis for the assessment of the quality of the Spanish Dry Ports location. *Procedia – Social and Behavioral Sciences: XVIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística*, 2014. № 162. P.42–50.

7. Wiśnicki Bogusz, Kujawski Artur Multicriteria analysis evaluating Venice port development. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012. № 48. P. 2545–2554.

8. Wiśnicki Bogusz, Kujawski Artur. Conditions for developing a port city transport infrastructure illustrated with the example of Szczecin agglomeration. *Transportation Research Procedia: 2nd International Conference «Green Cities – Green Logistics for Greener Cities», 2–3 March 2016, Szczecin, Poland*. 2016. № 16. P.566–575.

9. Michael Gogas, Giannis Adamos, Eftihia Nathanail. Assessing the performance of intermodal city logistics terminals in Thessaloniki. *Transportation Research Procedia: 3rd Conference on Sustainable Urban Mobility, 26-27 May 2016. Volos, Greece*. 2017. № 24. P. 17–24.

10. Daniela Ambrosino, Anna Sciomachen. Location of mid-range dry ports in multimodal logistic networks. *Procedia - Social and Behavioral Sciences: AIRO Winter 2013*. 2014. № 108. P. 118–128.

11. Vygantas Bagočius, Kazimieras Edmundas Zavadskas, Zenonas Turskis. Multi-Criteria Selection of a Deep-Water Port in Klaipeda. *Procedia Engineering*. 2013. № 57. P.144–148.

12. Ports strategy and logistics challenges: What are the levers for long term vitality? – TDIE Research Council / by Antoine Frémont, Claude Gressier and Pierre Van Cornewal. 56 p. URL: <http://tdie.eu/wp-content/uploads/2017/01/Ports-strategy-and-logistics-challenges-TDIE-report-Oct.-2016.pdf>

13. Iljnicjkiy D. O., Zinchenko S. G.. Poshuk idealjnoї modeli transportno-tekhnologichnoї sistemi portu: kompetentnisniyj vimir. *Visnik Odesjkogo nacionaljnogo universitetu. Seriya «Ekonomika»*. Odessa, 2017. T. 22. Vip. 5 (58). P. 87–97.

Зінченко С. Г. ОЦІНКА МЕЖІ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ МОРСЬКОГО ПОРТУ В ЛІТНІЙ ПЕРІОД

У статті розглянуто оцінку меж ефективності роботи транспортно-технологічної системи морського порту в літній період, що є важливим для аналізу розвитку морського транспорту України в цілому, зокрема інфраструктури морських портів в умовах дерегуляції їх роботи.

Досліджено особливості дерегуляції роботи морських портів України в літній період на прикладі Маріупольського порту Східного регіону України при перевезеннях різних видів вантажів і різних напрямів вантажопотоків, побудовано графічну модель, що демонструє зміну основних показників роботи порту залежно від впливу різних факторів у літній період.

Ключові слова: система, порт, транспорт, дерегуляція, вантаж, фактор, поле допуску, оцінка, ефективність.

Zinchenko S. G. ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY LIMIT OF THE TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEM OF THE SEAPORT IN THE SUMMER PERIOD

The article considers the assessment of the limits of the efficiency of the sea port of the seaport during the summer period, which is important for analyzing the development of Ukraine's maritime transport in general, including the infrastructure of seaports under the conditions of deregulation of their work. The features of deregulation of the operation of Ukraine's seaports during the summer period are exemplified by the example of the Mariupol port of the Eastern region of Ukraine for transportation of various types of cargo and various directions of cargo flows. A graphic model demonstrating changes in the port's main performance indicators, depending on the influence of various factors in the summer period.

Key words: system, port, transport, deregulation, cargo, factor, tolerance, assessment, efficiency.

© Зінченко С. Г.

Статтю прийнято
до редакції 30.03.18

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ С ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

Зинченко С. Н., к.т.н., старший преподаватель кафедры управления судном Херсонской государственной морской академии, e-mail: srz56@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5012-5029;

Ляшенко В. Г., к.д.п., заведующий лабораторией Херсонской государственной морской академии;

Грошева О. А., асистент кафедры управления судном Херсонской государственной морской академии, e-mail: olgamelyaeva@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9022-4697

Целью работы является синтез оптимального управления перемещением судна из заданного начального состояния в требуемое конечное. Такие управления возникают при решении задач поиска и спасения, подходе к объектам швартовки, включая подвижные, в других прикладных задачах. Поставленная цель достигается использованием принципа максимума, метода пристрелки и упрощенной математической модели судна с увеличенным шагом интегрирования, как инструмента метода пристрелки. Работоспособность алгоритмов проверена математическим моделированием объекта управления в замкнутой схеме с системой управления с учетом внешних воздействий. Разработанные алгоритмы могут быть применены в модуле синтеза оптимального управления движением судов, других задачах управления, решаемых в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: объект управления, система управления, математическая модель, численное интегрирование, оптимальное управление, принцип максимума, метод пристрелки.

Вступление. Многие практические задачи управления сводятся к задачам управления с заданными граничными условиями. Это означает, что требуется перевести объект управления из начального вектора состояния (начальные координаты, линейные и угловые скорости) в конечный вектор состояния (конечные координаты, линейные и угловые скорости). Имеется бесчисленное множество решений такой задачи, среди которых существует только одно оптимальное, которое соответствует выбранному критерию качества управления [1–5]. Таким критерием может быть максимальное быстродействие, минимальный расход топлива или любой другой актуальный критерий. В настоящей статье рассматривается синтез оптимального по быстродействию управления судном при подходе к объекту швартовки. Ручное управление маневрированием при подходе к объекту швартовки не обеспечивает качественного решения поставленной задачи, потому что для этого нужно знать и учитывать маневренные возможности судна, воздействие внешних факторов – ветра, течения, волн. При ручном маневрировании можно учесть только наиболее существенные факторы влияния, да и то очень приближенно. Поэтому ситуация может развиваться несколько иначе, чем предполагалось, очень часто приходится принимать дополнительные, не оптимальные управленческие решения для ее исправления, что в условиях дефицита времени и большой инерционности судна недопустимо. В связи с этим, решение задачи автоматического управления маневрированием при дальнем подходе к объекту швартовки, в том числе и подвижному, является достаточно актуальной, так как позволяет не только значительно улучшить точность решения за счет использования математической модели судна, моделей внешних воздействий, математического аппарата теории управления, но даже оптимизировать управление по времени, расходу топлива или любому другому критерию.

Целью настоящей статьи является синтез оптимального по быстродействию управления при дальнем подходе судна к объекту швартовки, в том числе и подвижному, с использованием принципа максимума и метода пристрелки; использование в качестве инструмента метода пристрелки, разработанной ранее упрощенной математической

модели; использование компенсационных управлений для удержания объекта управления на оптимальной траектории; проверка синтезированных алгоритмов математическим моделированием в замкнутой схеме с объектом управления в среде MATLAB.

Решение задачи. Структурная схема объектов моделирования представлена на рис. 1

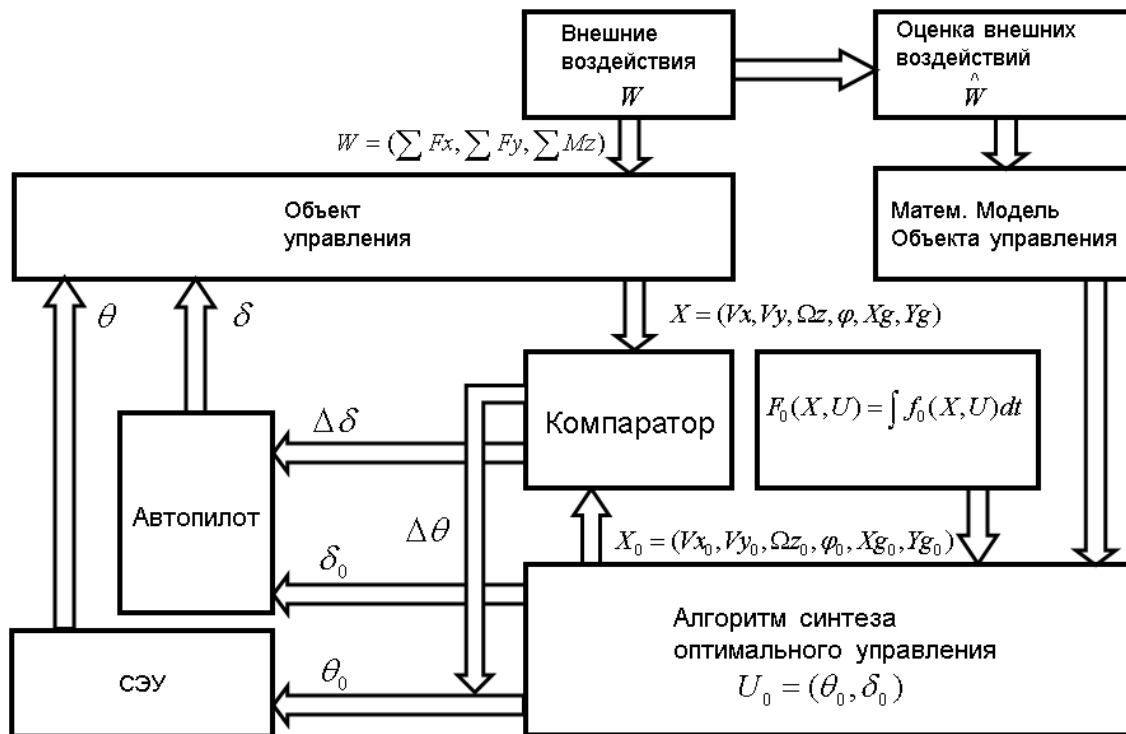


Рисунок 1 – Структурная схема объектов моделирования

Блок «Объект управления» (рис.1) представляет собой управляемый объект (судно), в качестве которого выступает полная система 12 дифференциальных уравнений движения [7]. Уравнения движения приведены в связанной системе координат (ССК), жестко связанной с объектом управления. Линейные и угловые перемещения ССК записаны относительно географической системы координат (ГСК) $X_g Y_g Z_g$, расположенной в центре масс судна так, что ось X_g направлена вдоль меридиана в сторону севера, Y_g – вдоль параллели к востоку, Z_g – дополняет систему до «правой» и направлена к центру Земли. Последовательность перехода от ГСК к ССК Z-Y-X. Положительные направления отсчета углов крена θ , дифферента ψ и курса φ при переходе из ГСК в ССК, совпадают с положительными направлениями вращения ССК:

$$(m + \lambda_{11}) \frac{dV_x}{dt} - (m + \lambda_{22}) V_y \Omega_z + (m + \lambda_{33}) V_z \Omega_y = \sum_{j=1}^n F_{xj},$$

$$(m + \lambda_{22}) \frac{dV_y}{dt} + (m + \lambda_{11}) V_x \Omega_z - (m + \lambda_{33}) V_z \Omega_x = \sum_{j=1}^n F_{yj},$$

$$(m + \lambda_{33}) \frac{dV_z}{dt} - (m + \lambda_{11}) V_x \Omega_y + (m + \lambda_{22}) V_y \Omega_x = \sum_{j=1}^n F_{zj},$$

$$(I_x + \lambda_{44}) \frac{d\Omega_x}{dt} + [(I_z + \lambda_{66}) - (I_y + \lambda_{55})] \Omega_y \Omega_z + (\lambda_{33} - \lambda_{22}) V_y V_z = \sum_{j=1}^n M_{xj},$$

$$(I_y + \lambda 55) \frac{d\Omega_y}{dt} + [(I_x + \lambda 44) - (I_z + \lambda 66)] \Omega_x \Omega_z + (\lambda 11 - \lambda 33) V_x V_z = \sum_{j=1}^n M_{y_j},$$

$$(I_z + \lambda 66) \frac{d\Omega_z}{dt} + [(I_y + \lambda 55) - (I_x + \lambda 44)] \Omega_x \Omega_y + (\lambda 22 - \lambda 11) V_y V_x = \sum_{j=1}^n M_{z_j},$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \Omega_x \cos \varphi \cos \psi + \Omega_y \sin \varphi \cos \psi - \Omega_z \sin \psi,$$

$$\frac{d\psi}{dt} = -\Omega_x \sin \varphi + \Omega_y \cos \varphi,$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \Omega_z,$$

$$\begin{aligned} \frac{dX_g}{dt} &= V_x \cos \varphi \cos \psi + V_y (-\cos \theta \sin \varphi + \sin \theta \cos \varphi \sin \psi) + \\ &+ V_z (\sin \theta \sin \varphi + \cos \theta \cos \varphi \sin \psi), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dY_g}{dt} &= V_x \sin \varphi \cos \psi + V_y (\cos \theta \cos \varphi + \sin \varphi \sin \psi \sin \theta) + \\ &+ V_z (-\sin \theta \cos \varphi + \cos \theta \sin \varphi \sin \psi), \end{aligned}$$

$$\frac{dZ_g}{dt} = -V_x \sin \psi + V_y \cos \psi \sin \theta + V_z \cos \theta \cos \psi$$

или в векторной форме:

$$\frac{dX}{dt} = f(X, U) \quad (1)$$

где вектор состояния объекта управления:

$$X = (V_x, V_y, V_z, \Omega_x, \Omega_y, \Omega_z, \theta, \psi, \varphi, X_g, Y_g, Z_g),$$

вектор управления (углы отклонения телеграфа и руля направления)

$$U = (\theta, \delta)$$

вектор-функция правых частей уравнения (1).

$$f(X, U) = [f_1(X, U), f_2(X, U), f_3(X, U), f_4(X, U), f_5(X, U), f_6(X, U), \\ f_7(X, U), f_8(X, U), f_9(X, U), f_{10}(X, U), f_{11}(X, U), f_{12}(X, U)]$$

Блок «Математическая модель объекта управления» (рис. 1), представляет собой упрощенную математическую модель судна [10], описываемую системой 6 дифференциальных уравнений. Упрощенная математическая модель используется для решения задачи синтеза оптимального управления в блоке «Алгоритм синтеза оптимального управления».

$$\frac{dV_x}{dt} = [P_x(\theta) + R_x(\beta, \delta) + (m + \lambda 22) V_y \Omega_z] / (m + \lambda 11),$$

$$\frac{dV_y}{dt} = [R_y(\beta, \delta) - (m + \lambda_{11})V_x\Omega_z] / (m + \lambda_{22}),$$

$$\frac{d\Omega_z}{dt} = [M_z(\beta, \delta) - (\lambda_{22} - \lambda_{11})V_yV_x] / (I_z + \lambda_{66}),$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \Omega_z,$$

$$\frac{dX_g}{dt} = V_x \cos \varphi - V_y \sin \varphi,$$

$$\frac{dY_g}{dt} = V_x \sin \varphi + V_y \cos \varphi,$$

или в векторной форме:

$$\frac{dX}{dt} = f(X, U), \quad (2)$$

где вектор состояния математической модели:

$$X = (V_x, V_y, \Omega_z, \varphi, X_g, Y_g),$$

вектор управления:

$$U = (\theta, \delta),$$

вектор-функция правых частей уравнения (2):

$$f(X, U) = [f_1(X, U), f_2(X, U), f_3(X, U), f_4(X, U), f_5(X, U), f_6(X, U)].$$

Задачей управления маневрированием при подходе к объекту швартовки является перевод судна из заданного начального состояния, определяемого начальным положением, начальными линейными и угловыми скоростями судна на момент начала маневрирования, в требуемое конечное состояние, определяемое требуемым конечным положением, конечными линейными и угловыми скоростями судна на момент окончания маневрирования.

С математической точки зрения, это задача оптимального управления системой (2), которая представляет в вычислителе объект управления (1) с закрепленными концами $X(0) = (V_{x0}, V_{y0}, \Omega_{z0}, \Psi_0, X_{g0}, Y_{g0})$, $X(T) = (V_{x1}, V_{y1}, \Omega_{z1}, \Psi_1, X_{g1}, Y_{g1})$ и заданным

функционалом качества управления $F_0(X, U) = \int_{t_0}^T f_0(X, U) dt$ (рис. 1) [1–5].

В качестве функционала качества управления может быть принят любой функционал, оптимизирующий движение судна по времени, расходу топлива или любому другому критерию. В данной работе исследуется оптимальное по времени движение судна, то есть в качестве функционала качества управления принят функционал:

$$F_0(X, U) = \int_{t_0}^T (-1) dt. \quad (3)$$

С учетом имеющихся ограничений на управление $U = (\theta, \delta)$ (ограничение на предельные углы перекадки телеграфа и ограничение на предельные углы перекадки руля направления), данная задача может быть решена с помощью принципа максимума

Понтрягина и метода пристрелки для обеспечения попадания в конечный вектор состояния $X(T) = (Vx1, Vy1, \Omega z1, \Psi1, Xg1, Yg1)$.

Согласно [1], необходимое условие оптимального управления для рассматриваемой задачи имеет вид:

$$H[X^*(t), \Psi^*(t), U^*(t)] = \max_{u \in U} H[X^*(t), \Psi^*(t), U(t)], t_0 \leq t \leq T,$$

где функция Понтрягина (Гамильтониан):

$$H[X(t), \Psi(t), U(t)] = \sum_{j=0}^6 \Psi_j(t) f_j[X(t), U(t)] - \quad (4)$$

сопряженный вектор состояния, определяемый сопряженной к (2) системой дифференциальных уравнений:

$$\Psi = (\psi_0, \psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4, \psi_5, \psi_6);$$

$$\frac{d\Psi_i}{dt} = - \sum_{j=0}^6 \psi_j \frac{df_j}{dX_i}, i = 1..6. \quad (5)$$

Матрица Якоби $\frac{df_j}{dX_i}$, $j=0..6$, $i=1..6$ получена в явном виде дифференцированием правых частей математической модели (2) по параметрам вектора состояния.

Правая часть Гамильтониана (4), для рассматриваемого объекта управления, достигает максимума при крайних отклонениях органов управления (телеграфа и руля направления) в силу линейной зависимости создаваемой силы упора винта $Px(\theta)$, боковой силы $Ry(\beta, \delta)$ и управляющего момента $Mz(\beta, \delta)$ от углов отклонения телеграфа θ и руля направления δ согласно [6]. Зависимость же составляющей силы лобового сопротивления $Rx(\beta, \delta)$ от отклонения руля носит квадратичный характер, однако, учитывая ее второстепенность, с целью упрощения алгоритма поиска оптимального управления, также предполагается линейный характер изменения этой составляющей в диапазоне от $-\delta_{\max}$ до $+\delta_{\max}$.

Тогда, с учетом принятых предположений, оптимальное управление $U = (\theta, \delta)$ для рассматриваемого объекта управления (2) будет определяться системой уравнений (6):

$$\begin{aligned} \theta &= [\theta_{\max}, \psi_1 * \frac{df_1(X, U)}{d\theta} > 0]; \\ \theta &= [-\theta_{\max}, \psi_1 * \frac{df_1(X, U)}{d\theta} < 0]; \\ \delta &= [\delta_{\max}, (\psi_1 * \frac{df_1(X, U)}{d\delta} + \psi_2 * \frac{df_2(X, U)}{d\delta} + \psi_3 * \frac{df_3(X, U)}{d\delta}) > 0]; \\ \delta &= [-\delta_{\max}, (\psi_1 * \frac{df_1(X, U)}{d\delta} + \psi_2 * \frac{df_2(X, U)}{d\delta} + \psi_3 * \frac{df_3(X, U)}{d\delta}) < 0]; \\ \frac{df_1(X, U)}{d\theta} &= \frac{dP(\theta)}{(m + \lambda_{11})}, \frac{df_2(X, U)}{d\delta} = \frac{dRy(\beta, \delta)}{(m + \lambda_{22})}, \frac{df_3(X, U)}{d\delta} = \frac{dMz(\beta, \delta)}{(I_{zz} + \lambda_{66})}. \end{aligned} \quad (6)$$

Совместное решение систем уравнений (2), (5), (6) определяет оптимальное, с точки зрения функционала качества управления (3), движение объекта управления.

Для расчета начального значения сопряженного вектора состояния $\Psi(0) = (\psi_0(0) = 1, \psi_1(0), \psi_2(0), \psi_3(0), \psi_4(0), \psi_5(0), \psi_6(0))$, который обеспечивает попадание оптимальной траектории в конечный вектор состояния $X_1(T) = (V_{x1}, V_{y1}, \Omega_{z1}, \Psi_1, X_{g1}, Y_{g1})$, использован метод пристрелки [8–9]. Так как упрощенная модель объекта управления (2) имеет размерность 6, требуется 7 совместных прогонов модели (2), сопряженной системы (5) и алгоритма формирования управлений (6) для различных начальных значений $\Psi(0)$ с целью определения матрицы чувствительности $\frac{d\Psi(0)}{dX(T)}$, последующего уточнения начального значения сопряженного вектора

$$\Psi(0) = \Psi(0) + \frac{d\Psi(0)}{dX(T)}(X(T) - X_1(T)).$$

Синтез оптимального управления заканчивается после нахождения $\Psi(0)$, для которого $X(T) - X_1(T) < \varepsilon$.

Синтезированное согласно (6) оптимальное управление $U = (\theta, \delta)$ используется как программное при реализации дальнего подхода к объекту швартовки. Ряд факторов, таких как неточность знания математической модели объекта управления (2), (5), (6), внешних воздействий (ветра и течения), погрешности расчетов, неучтенные факторы приводят к отклонению реальной траектории от оптимальной. С целью компенсации таких отклонений на программное управление $U = (\theta, \delta)$ накладывается управление $\Delta U = (\Delta\theta, \Delta\delta)$, удерживающее объект управления на оптимальной траектории.

Результаты исследований. Проверка правильности работы синтезированных алгоритмов проведена на примере решения задачи швартовки судна, имеющего параметры начального вектора состояния $V_x(0) = 5 \text{ м/с}$, $V_y(0) = 1 \text{ м/с}$, $\Omega_z(0) = 2 \text{ град/с}$, $\varphi(0) = 0 \text{ град}$, $X_g(0) = 0 \text{ м}$, $Y_g(0) = 0 \text{ м}$, конечного вектора состояния $V_x(T) = 0 \text{ м/с}$, $V_y(T) = 0 \text{ м/с}$, $\Omega_z(T) = 0 \text{ град/с}$, $\varphi(T) = 90 \text{ град}$, $X_g(T) = 450 \text{ м}$, $Y_g(T) = 550 \text{ м}$, наличия постоянного ветра и течения.

На рис. 2 приведены графики изменения параметров вектора состояния (продольной скорости V_x , боковой скорости V_y , угловой скорости W_z , курсового угла Φ , перемещений X_g, Z_g) и управления (перемещение телеграфа $teta$ и руля направления $delta$), полученные для оптимального по времени перевода объекта управления из начального состояния в конечное.

На рис. 3 приведена оптимальная по времени траектория подхода судна к объекту швартовки.

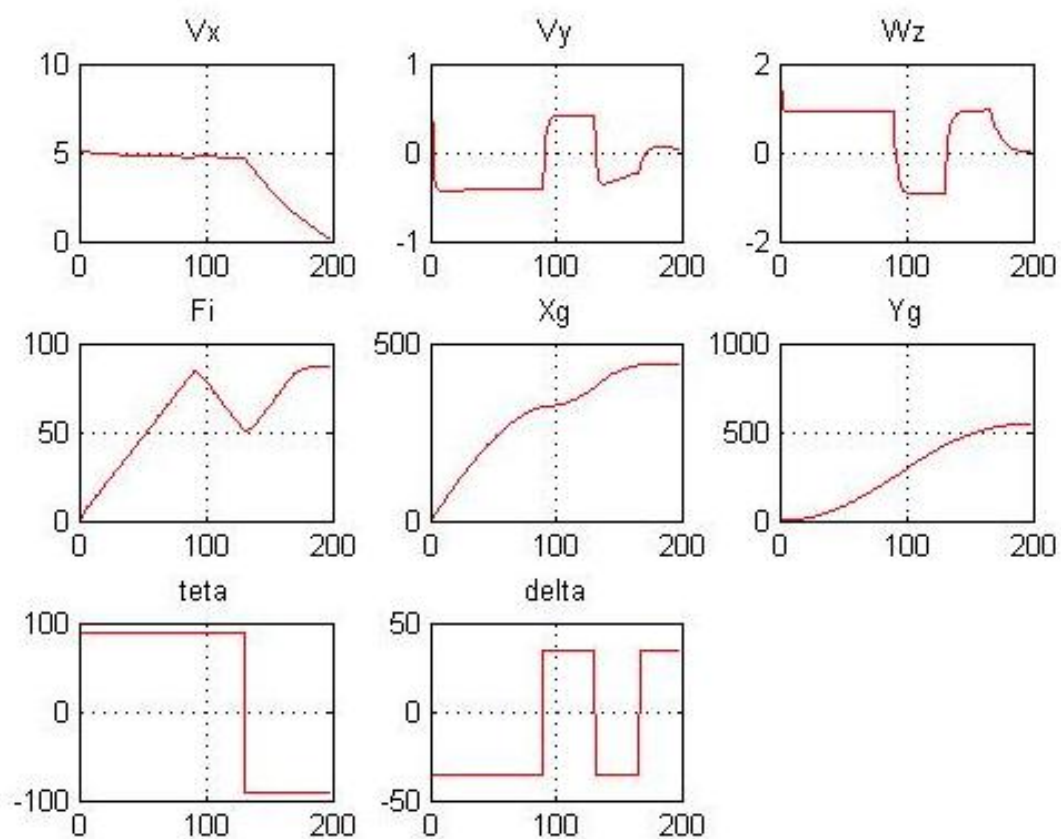


Рисунок 2 – Графики изменения параметров вектора состояния



Рисунок 3 – Оптимальная по времени траектория подхода судна к объекту швартовки

Выводы. Результаты математического моделирования подтверждают работоспособность синтезированных алгоритмов оптимального управления. Совместно с наложенными управлениями, компенсирующими отклонения объекта управления от оптимальной траектории вследствие действия неучтенных факторов, оптимальные управления обеспечивают перевод объекта управления с заданного начального в требуемое конечное состояние за минимальное время с заданной точностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. Математическая теория оптимальных процессов. Москва : Наука, 1969.
2. Ногин В. Д. Введение в оптимальное управление : учебно-методическое пособие. СПб : ЮТАС, 2008. 92 с.
3. Алексеев В. М., Тихомиров В. М., Фомин С. В. Оптимальное управление. Москва : Наука, 1979.
4. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функции и функционального анализа. Москва : Наука, 1976.
5. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология : учебное пособие для вузов. Москва : Высшая школа, 2007.
6. Антонов В. А., Письменный М. Н. Теоретические основы управления судном. Владивосток : МГУ им.адмирала Г.И. Невельского, 2007. 78 с.
7. Navi Trainer 4000. Mathematical models // Technical description. Transas Marine Ltd, 2003. 104 p.
8. Моршнева И. В., Овчинникова С. Н. Численное решение краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод стрельбы. Ростов-на-Дону : УПЛ РГУ, 2003.
9. Струченков В. И. Методы оптимизации в прикладных задачах. Москва : Солон-Пресс, 2009. 310 с.

REFERENCES

1. Pontryagin, L., Boltyanskiy, V., Gamkrelidze, R. & Mishenko, E. (1969). *Matematicheskaya teoriya optimalnykh processov*. Moskva : Nauka.
2. Nogin, V. (2008). *Vvedenie v optimalnoe upravleniye* : uchebno-metodicheskoe posobie. Sankt Peterburg : UTAS.
3. Alekseev, V., Tihomirov, V. & Fomin, S.(1979). *Optimalnoe upravlenie*. Moskva : Nauka.
4. Kolmogorov, A. & Fomin, S. (1976). *Elemety teorii funktsii i funktsionalnogo analiza*. Moskva : Nauka.
5. Ventcel, E. (2007). *Issledovanie operatsiy: zadachi, principy, metodologiya* : uchebnoe posobie dlya vtuzov. Moskva : Visshaya shkola.
6. Antonov, V. & Pismennyj, M. (2007). *Teoreticheskie osnovy upravleniya sudnom*. Vladvostok : MGU im.admirala Nevelskogo.
7. Navi Trainer 4000. Mathematical models // Technical description. Transas Marine Ltd, 2003.
8. Morshneva, I. & Ovchinnikova, S. (2003). *Chislennoe reshenie kraevih zadach dlya obyknovennykh differentsialnykh uravnenij. Metod strelby*. Rostov na Dony : UPL RGU.
9. Struchenkov, V. (2009). *Metody optimizatsii v prikladnykh zadachah*. Moskva : Solon-Press.

Зінченко С. М., Ляшенко В. Г., Грошева О. О. СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ СУДНОМ З ГРАНИЧНИМИ УМОВАМИ.

Метою роботи є синтез оптимального управління переміщенням судна із заданого початкового стану в потрібний кінцевий. Такі управління виникають при вирішенні завдань пошуку і порятунку, підході до об'єктів швартування, включаючи рухомі, в інших прикладних задачах. Поставлена мета досягається використанням принципу максимуму, методу пристрілки і спрощеної математичної моделі судна зі збільшеним кроком інтегрування як інструменту методу пристрілки. Працездатність алгоритмів перевірена математичним моделюванням об'єкта управління в замкнутій схемі із системою управління з урахуванням зовнішніх впливів. Розроблені алгоритми можуть бути застосовані у модулі синтезу оптимального управління рухом суден, інших задачах управління, що вирішуються у реальному масштабі часу.

Ключові слова: об'єкт управління, система управління, математична модель, числове інтегрування, оптимальне управління, принцип максимуму, метод пристрілки.

Zinchenko S., Lyashenko V. G., Grosheva O. SYNTHESIS OF OPTIMAL CONTROL OF A VESSEL WITH BOUNDARY CONDITIONS.

The aim of the work is the synthesis of optimal control of the movement of the vessel from a adjusted initial state to the desired end. Such controls arise in solving search and rescue tasks, approaching mooring objects, including mobile ones, in other applied tasks. This goal is achieved by using the maximum principle, the shooting method and a simplified mathematical model of the vessel with an increased integration step, as a tool for the method of shooting. The efficiency of the algorithms has been verified by mathematical modeling of the control object in a closed circuit with a control system, taking into account external influences. The developed algorithms can be applied in the synthesis module of the optimal control of the movement of vessels, other control problems solved in real time.

Keywords: control object, control system, mathematical model, numerical integration, optimal control, maximum principle, shooting method.

© Зінченко С. М., Ляшенко В. Г., Грошева О. О.

Статтю прийнято
до редакції 20.05.18

УДК 656.61.052

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПЕРАТОРА С СИСТЕМОЙ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Лелеко Н. В., аспирант кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии, e-mail: leleko2k@gmail.com

Системы динамического позиционирования нашли широкое применение на современном флоте. Ввиду их эффективности и многофункциональности установка систем динамического позиционирования стала массовым явлением – судовладельцы все чаще устанавливают их на свои суда, что, в свою очередь, стимулирует их дальнейшее развитие и совершенствование.

В статье проведен анализ современных систем динамического позиционирования и выделены главные направления в их развитии – модульная архитектура, широкий ряд референциальных систем, повышение уровня автоматизации, повышение надежности и упор на борьбу с человеческим фактором. С ростом спроса на эти системы, с повышением их сложности и многофункциональности растут и требования к подготовке операторов, управляющих данными системами.

В статье рассматриваются недостатки современных методов подготовки операторов систем динамического позиционирования, а именно: они не учитывают индивидуальные особенности обучаемых (их способность к обучению, стрессоустойчивость, умение принимать решения в экстремальных ситуациях), отсутствует четкий механизм выявления ошибок при выполнении практических упражнений и механизм закрепления полезных навыков при исправлении этих ошибок. В качестве решения этой проблемы в исследовании предлагается структура программного модуля для повышения качества взаимодействия оператора с системой.

Данный модуль учитывает индивидуальные особенности обучаемых и позволяет в автоматическом режиме выявлять и исправлять ошибки при выполнении практических упражнений в процессе обучения.

Внедрение этого модуля в практическую подготовку операторов систем динамического позиционирования позволит существенно повысить качество подготовки обучаемых и таким образом снизить уровень человеческого фактора.

Ключевые слова: динамическое позиционирование, эргатическая система, оператор, программный модуль, схема, человеческий фактор, судно, флот, автоматическая система.

Вступление. К современным высокоточным интеллектуальным системам управления движением судна относятся системы динамического позиционирования – ДП системы.

Согласно определению ИМО, система динамического позиционирования – это система, которая автоматически контролирует судно для удержания его позиции и курса исключительно посредством активного использования судовых движителей [1].

За последние 20 лет установка систем динамического позиционирования превратилась с уникального в массовое явление, что привело к их удешевлению и стимулировало судовладельцев к расширению их использования.

В наши дни ДП системы нашли широкое применение на различных типах судов – от оффшорных судов и судов специального назначения до пассажирских судов и яхт. Установка таких систем обеспечивает судам ряд преимуществ в плане безопасности, маневрирования и экономической эффективности, что способствует их повсеместному внедрению и дальнейшему развитию.

С ростом актуальности ДП систем растет и актуальность качественной подготовки ДП операторов [2], а также актуальность вопроса человеческого фактора в оффшорной индустрии.

Актуальность. Невзирая на экономический кризис в сфере оффшорной индустрии в области добычи нефти, что связано со снижением ее цены, а также с активной разработкой альтернативных, возобновляемых источников энергии и борьбой с загрязнением окружающей среды при сжигании ископаемого топлива, спрос на высокоточные интеллектуальные системы управления движением судов растет. Это связано с активным развитием других областей оффшорного флота: установка и обслуживание ветрогенераторов (особенно активное развитие наблюдается в Северном море, у побережья

Дании, Голландии, Соединенного Королевства), подводная укладка труб и кабеля, а также их обслуживание, обеспечение водолазных работ, дноуглубительные работы, океанографические и гидрографические исследования. Активное развитие этих отраслей выдвигает все более жесткие требования к точности и надежности систем управления движением судов, задействованных в соответствующих операциях.

Развитие таких систем является особенно актуальным в разрезе борьбы с человеческим фактором [3] – главной причиной аварийности на флоте, так как их внедрение позволяет существенно снизить роль человека в процессе управления движением судна.

Также повышению спроса на эти системы способствует возможность отказаться от буксиров при маневрировании в портах и при выполнении швартовочных операций [4], что позволяет судовладельцам существенно экономить в долгосрочной перспективе.

Таким образом, вышеперечисленные факторы делают внедрение систем динамического позиционирования все более актуальным вопросом и стимулируют их развитие.

Существенный вклад в развитие ДП систем сделала компания Navis. Она первой в 2002 году предложила решение для позиционирования легкокорпусных скоростных судов для доставки экипажей морских платформ. Впервые в истории судоходства успешно решила проблему управления движением судна-ледокола с асимметричной формой корпуса (установка ДП системы на ледокол «Балтика» (Росморречфлот, Россия). Также компания расширила функционал ДП систем специальными режимами для дноуглубительных судов, успешно решив проблему возникновения паразитических сил во время протаскивания землечерпалок и других подводных устройств.

ДП система от компании Navis – NavDP 4000 установлена более чем на 500 судах и обладает следующим функционалом [5]: перемещение судна в заданном направлении с заданными параметрами движения; позиционирование относительно множественных целей; режим следования за целью; возможность позиционирования с помощью широкого ряда сенсоров (DGPS, гидроакустика, лазерные дальномеры); диаграмма обеспечения необходимых упоров [6]; контроль силовой системы и предупреждение аварийного отключения [7]; автоматическое перераспределение упоров между трастерами в случае изменения конфигурации силовой системы. Широкий функционал, модульная архитектура, контроль параметров безопасности и исправности системы позволяют устанавливать NavDP 4000 на оффшорные суда-снабженцы – OSV (Offshore Support vessels) и PSV (Platform Supply Vessels), оффшорные суда доставки персонала – Crew Boat, FSIV (Fast Speed Intervention Vessels), буксиры-якорукладчики – AHTS (Anchor Handling Tug Supply), суда обеспечения водолазных работ – DSV (Diving Support Vessel), полупогружные грузовые суда, челночные танкеры, земснаряды, круизные суда и мега-яхты, гидрографические суда, лоцманские суда и суда-кабелеукладчики.

Помимо NavDP 4000, компания Navis предлагает ДП систему JP4000, предназначенную для установки на яхты, мега-яхты и суда свободного назначения. Функционал этой системы ниже, чем у NavDP 4000, и сводится к перемещению судна в заданном направлении с заданными параметрами движения, возможности позиционирования с помощью DGPS и режима авторулевого.

Крупным производителем ДП систем является компания Kongsberg. Первая ДП система от этой компании была выпущена в 1977 году, и с тех пор она поставила на рынок более 4000 систем.

ДП система от Kongsberg – K-Pos DP обладает следующим функционалом [8]: перемещение судна в заданном направлении с заданными параметрами движения; возможность позиционирования с помощью различных сенсоров (DGPS, лазерные дальномеры, гидроакустика, относительное позиционирование); программное обеспечение с функцией «**FaultTolerance**» (система выявляет ошибки и автоматически исправляет их); защита всей системы от выхода из строя в случае поломки отдельных компонентов. Данная система предназначена для установки практически на любых типах оффшорных судов.

Помимо Navis и Kongsberg, лидерами в области разработки и совершенствования систем динамического позиционирования являются следующие производители: Rolls-Royce (IconDP) [9], TwinDisc (EC300DP), COMEX (DPCx), NAUDEQ (VR-DYPO) и MarineTechnology (BridgeMateDP).

Повсеместное внедрение ДП систем и увеличение их сложности и функционала способствует росту спроса на квалифицированных ДП операторов. Поэтому вопрос качественной подготовки операторов ДП систем, повышение эффективности и качества взаимодействия операторов с системой набирает актуальности [10]. Серьезной проблемой в этой сфере является проблема человеческого фактора [11, 12], так как, невзирая на попытки производителей максимально упростить интерфейс, группировать информацию по логическим категориям, ДП системы по-прежнему являются очень сложными в виду их многофункциональности [13].

Цель исследования. Вопрос качественной подготовки операторов систем динамического позиционирования является очень актуальной проблемой в разрезе сложности ДП систем и частым проявлением человеческого фактора в этой сфере. Целью данного исследования является разработка программного модуля для повышения качества взаимодействия ДП оператора с системой путем учета индивидуальных особенностей обучаемых и автоматического выявления ошибок в ходе выполнения практических упражнений.

Основная часть. Современные системы динамического позиционирования обладают широким рядом функций и режимов. Рост спроса на ДП системы, их повсеместное внедрение и расширение сферы применения стимулируют их дальнейшее совершенствование и развитие.

Проанализировав функционал современных ДП систем, можно выделить следующие тренды в их развитии:

- модульная архитектура. Такое строение систем делает их универсальными и позволяет приспосабливать практически к любой конфигурации пропульсивного и силового оборудования судна;
- расширение ряда референциальных систем (датчиков позиции) что делает ДП системы более надежными и дает возможность оператору выбирать датчик позиции в зависимости от ситуации и требуемой точности;
- упор на борьбу с человеческим фактором – главной причиной аварийности на флоте. Большинство производителей наделяют свои системы интуитивным и максимально понятным интерфейсом. Группируют информацию, выводимую оператору, по логическим категориям, в виде максимально удобном для восприятия. Все это сделано для того, чтобы свести вероятность ошибки оператора к минимуму;
- повышение уровня автоматизации систем. Так многие производители оснащают свои системы функциями «следования за целью», «автоматическая укладка кабеля/трубопровода». Все это делается для того, чтобы максимально автоматизировать процесс управления судном и снизить в нем роль оператора, снизив таким образом влияние человеческого фактора;
- повышение уровня надежности самих систем за счет модулей непрерывного мониторинга исправности и немедленного оповещения оператора о выходе компонентов системы из строя.

Однако, невзирая на все эти новаторства и высокий уровень надежности, ДП системы по-прежнему остаются эргатическими системами и роль оператора в них все еще велика. Оператор по-прежнему остается компонентом системы, принимающим решения, а значит, человеческий фактор по-прежнему остается актуальной проблемой, которая требует решения.

Особенно сильно эта проблема обостряется в случае возникновения внештатных ситуаций, таких как уход судна из позиции, внезапное воздействие порывов ветра или волн, неполадки системы, требующие удержания судна в позиции в ручном режиме, а также отказ

судового оборудования. В таком случае оператор вынужден принимать управляющее решение незамедлительно, основываясь только на своем опыте и ограниченном наборе информации, что естественным образом способствует проявлению человеческого фактора.

Еще одним аргументом, который повышает вероятность ошибки по вине человеческого фактора, является сложный интерфейс ДП систем и их многофункциональность – оператор может попросту запутаться в сложных, многоуровневых меню самой системы.

Одним из направлений решения этой проблемы является повышение качества взаимодействия оператора с ДП системой в процессе прохождения ДП курсов.

Современные курсы подготовки ДП операторов ставят перед собой цель ознакомить специалистов со сложным оборудованием, дать необходимый минимум теоретических материалов и практические навыки работы с системой. При этом индивидуальные качества обучаемых, такие как: уже имеющиеся знания и навыки, умение принимать решения в экстремальных ситуациях, тип личности и способность к обучению не учитываются. Также отсутствует четкий механизм выявления ошибок, допущенных оператором в процессе выполнения практических упражнений, и дальнейший контроль их исправления. В данном случае эту функцию выполняет инструктор, который сам является человеком, и, следовательно, тоже подвержен человеческому фактору – он может попросту не заметить некоторые ошибки, допущенные обучаемым, также как и не заметить пробелы в знаниях обучаемого.

Также слабо реализованы сценарии внештатных ситуаций (отработка на тренажерах различных неисправностей). Как правило, акцент делается на использование ДП системы в штатном режиме, в то время как отработка экстремальных ситуаций затрагивается вскользь.

Для решения проблемы человеческого фактора такие курсы должны не только отвечать всем требованиям международных организаций и классификационных обществ к подготовке специалистов, но и соответствовать мировым тенденциям развития ДП оборудования – делать упор на борьбу с ошибками операторов и повышения качества взаимодействия человек – система.

Проблема оптимизации программы подготовки ДП операторов и повышения качества их взаимодействия с системой может быть решена путем создания программного модуля (рис. 1), в задачи которого входит:

- отработка внештатных ситуаций (отказ системы, уход судна с ДП, поломки судового оборудования), для того, чтоб операторы не только умели работать с ДП системами, но и имели навыки принятия решений в экстремальных ситуациях;
- учет индивидуальных особенностей обучаемых – их знания, навыки и способность к обучению;
- функция автоматического реестра ошибок, допущенных ДП оператором в процессе выполнения практических заданий. Система должна анализировать действия обучаемого в процессе выполнения практических упражнений и сравнивать их с требуемыми, правильными действиями для анализа эффективности и выявления ошибок;
- автоматическая перенастройка упражнений таким образом, чтоб акцент делался на многократной симуляции ситуаций и условий, способствующих допущению ошибки. Таким образом, система сможет выявлять слабые места в практической подготовке операторов, используя индивидуальный подход, и автоматически фокусироваться на них для дальнейшего устранения.

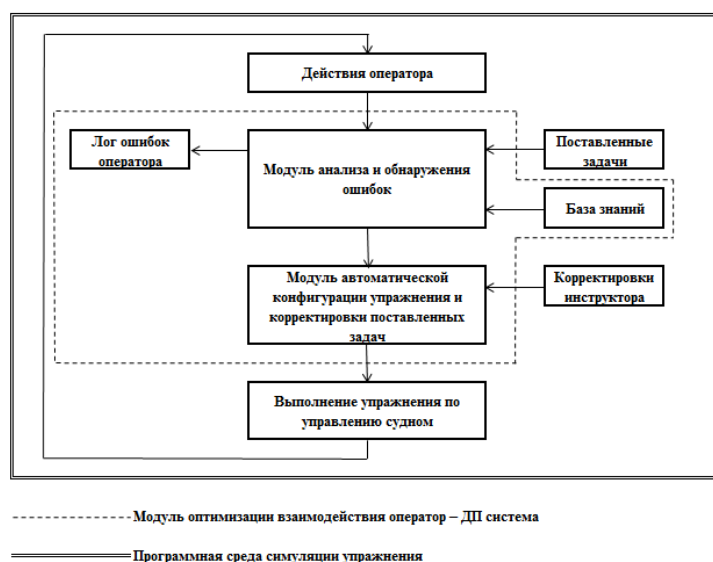


Рисунок 1 – Структурная схема модуля оптимизации взаимодействия оператор – ДП система

Использование данного модуля для подготовки ДП операторов позволяет подобрать индивидуальный подход к каждому обучаемому в соответствии с его личностными качествами и навыками и таким образом сосредоточить тренинг в тех областях, где это действительно необходимо, так как структура данного модуля направлена именно на выявления ошибок обучаемого в каждой конкретной ситуации в ходе выполнения упражнения.

Преимуществом данной модели является и то, что она автоматизирована, а значит, позволяет снизить влияние человеческого фактора и со стороны инструктора, так как система будет непрерывно следить за оператором и сама выявлять ошибки в его действиях.

Выводы. Очевидные преимущества систем динамического позиционирования способствуют их широкому внедрению и развитию. Проанализировав существующие разработки, становится очевидным, что вопрос человеческого фактора в таких системах решен не полностью и требует дальнейшей работы и исследований с целью уменьшения аварийности на флоте. В качестве решения этой проблемы в исследовании разработана схема программного модуля, который можно применять при выполнении практических упражнений ДП операторами в ходе их подготовки. Этот программный модуль направлен на повышение качества взаимодействия операторов с ДП системами путем выявления и учета индивидуальных особенностей обучаемых, таких, как их способность к обучению, стрессоустойчивость, умения принимать правильные решения в экстремальных ситуациях. Также программа позволяет в автоматическом режиме находить ошибки, допущенные при выполнении упражнений и автоматически перенастраивать упражнения для повторения условий, которые способствовали их допущению для закрепления правильных навыков с целью исключения подобных ошибок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. IMO MSC/Circular 645 - Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems. – IMO MSC, 1994. – 12 p.
2. Dynamic positioning operator training : the official guide to the Nautical Institute training standards / by Captain D.J. Bray. – The Nautical Institute, 1999. – 37 p.
3. Berg. H. P. (2013). Human Factors and Safety Culture in Maritime Safety. *TransNav : the International Journal on Maritime Navigation and Safety of Sea Transportation* Vol. 7, Number 3, September 2013. P. 343-352.
4. Liang, C. and Cheng, W. (2004). The optimum control of thruster system for dynamically positioned vessels. *Ocean Engineering*, 31, 97–110.

5. Обзор ДП системы Navis : веб-сайт. URL : <http://www.navis.spb.ru/dp-systems/dp-overview>
6. Proskurnikov A., Ambrosovskaya E. Thrust Ability Diagrams for Multi-Thruster Marine Vessels. 9th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft, 2012 The International Federation of Automatic Control September 19-21, 2012. Arenzano, Italy. 152 – 157 p.
7. Wang, S. (2012). DP capability assessment – a class perspective. Offshore support journal, 1, 63–66.
8. Обзор ДП системы Kongsberg. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.km.kongsberg.com>
9. Обзор ДП системы Rolls-Royce. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rolls-royce.com>
10. Buchanan, G. I., *The Modern Dynamic Positioning System*, in the proceedings of The Nautical Institute seminar Proposed Arrangements for Dynamic Positioning Operator Training and Qualification, Aberdeen, November 1982.
11. Бень А.П. Принципи побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія. *Матеріали другої науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2010)»*, Херсон, ХДМІ, 25–27 травня 2010 р., Т.1, – С. 8 – 11.
12. Бень А.П. Человеческий фактор при принятии решений в судовождении и пути снижения его влияния / А.П. Бень, И.В. Паламарчук // *Науковий вісник Херсонської державної академії: науковий журнал*. – Херсон: Видавництво ХДМА, 2015. – № 1 (12). – С. 4–9.
13. Charles A. O'Reilly I. Variations in Decision Makers' Use of Information Sources: The Impact of Quality and Accessibility of Information. *Journal Academy of Management - ACAD MANAGE J* December 1, 1982 vol. 25 no. 4 p. 756–771

REFERENCES

1. IMO MSC/Circular 645 - Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems. – IMO MSC, 1994. – 12 p.
2. Dynamic positioning operator training : the official guide to the Nautical Institute training standards / by Captain D.J. Bray. — 2nd ed. — The Nautical Institute, 1999. — 37 p.
3. Berg. H.P. 2013. Human Factors and Safety Culture in Maritime Safety. *TransNav, the International Journal on Maritime Navigation and Safety of Sea Transportation* Vol. 7, Number 3, September 2013. Pages 343-352.
4. Liang, C. and Cheng, W. (2004). The optimum control of thruster system for dynamically positioned vessels. *Ocean Engineering*, 31, 97–110.
5. Overview of DP System Navis. [Electronic source]. – Access mode: <http://www.navis.spb.ru/dp-systems/dp-overview>
6. Proskurnikov A., Ambrosovskaya E. Thrust Ability Diagrams for Multi-Thruster Marine Vessels. 9th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft, 2012 The International Federation of Automatic Control September 19-21, 2012. Arenzano, Italy. 152 – 157 p.
7. Wang, S. (2012). DP capability assessment – a class perspective. Offshore support journal, 1, 63–66.
8. Overview of DP System Kongsberg. [Electronic source]. – Access mode: <https://www.km.kongsberg.com>
9. Overview DP System Rolls-Royce. [Electronic source]. – Access mode: <https://www.rolls-royce.com>
10. Buchanan, G. I., *The Modern Dynamic Positioning System*, in the proceedings of The Nautical Institute seminar «Proposed Arrangements for Dynamic Positioning Operator Training and Qualification», Aberdeen, November 1982.

11. Ben A. Principles of Creating Decision Support Systems for Navigator // Materials of the Second Scientific and Practical Conference «Modern Information and Innovative Technologies in Transport (MINTT-2010)», Kherson, KSMI, May 25-27, 2010, T.1, - P. 8 – 11
12. Ben A. The human factor in decision-making in navigation and the ways to reduce its influence / A.P. Ben, I.V. Palamarchuk // Scientific Herald of the Kherson State Academy: Scientific Journal. - Kherson: KSMA Publishing House, 2015. - No. 1 (12). - pp. 4 - 9.
13. Charles A. O'Reilly I. Variations in Decision Makers' Use of Information Sources: The Impact of Quality and Accessibility of Information. Journal Academy of Management - ACAD MANAGE J December 1, 1982 vol. 25 no. 4 p. 756-771

Лелеко М. В. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ОПЕРАТОРА З СИСТЕМОЮ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ.

У статті проведений аналіз сучасних систем динамічного позиціонування (ДП) та виділені головні напрями в їх розвитку. З ростом попиту на ДП системи, з підвищенням їх складності та базатофункціональності ростуть і вимоги до підготовки ДП операторів. У статті розглядаються недоліки сучасних систем підготовки ДП операторів та пропонується структура програмного модуля для підвищення якості взаємодії оператора з ДП системою. Даний модуль враховує індивідуальні особливості операторів та дозволяє в автоматичному режимі знаходити та виправляти помилки при виконанні практичних вправ у процесі навчання.

Ключові слова: динамічне позиціонування, ергатична система, оператор, програмний модуль, схема, людський фактор, судно, флот, автоматична система.

Leleko M. V. THE WAYS OF IMPROVEMENT OF QUALITY OF INTERACTION BETWEEN OPERATORS AND DP SYSTEMS.

Dynamic positioning systems have found wide application in the modern fleet. In view of their efficiency and versatility, the installation of dynamic positioning systems has become a mass phenomenon - shipowners are increasingly installing them on their ships, which in turn stimulates their further development and improvement.

The research analyzes modern dynamic positioning systems and identifies the main directions in their development - modular architecture, a wide range of referential systems, increasing the level of automation, increasing reliability and focusing on combating the human factor. With the growing demand for these systems, with increasing complexity and multifunctionality, the requirements for training operators operating these systems are also growing.

The research considers the shortcomings of modern methods of training operators of dynamic positioning systems, namely: they do not take into account the individual traits of the trainees (their ability to learn, stress resistance, the ability to make decisions in extreme situations), there is no clear mechanism for identifying errors during conducting of practical exercises and the mechanism the consolidation of useful skills in correcting these errors.

As a solution to this problem, the research proposes the structure of a software module to improve the quality of the operator's interaction with the system. This module takes into account the individual traits of the trainees and allows in an automatic mode to identify and correct errors in the implementation of practical exercises in the learning process. The introduction of this module in the practical training of operators of dynamic positioning systems will significantly improve the quality of training for trainees and thus reduce the level of the human factor.

Key words: dynamic positioning, ergatic system, operator, software module, circuit, human factor, ship, fleet, automatic system.

© Лелеко М. В.

Статтю прийнято
до редакції 20.06.18

ЭТИ НЕРЕГИСТРОВЫЕ ТОННЫ

Лошкарев А. Г., старший преподаватель кафедры экономики и морского права Херсонской государственной морской академии, e-mail: lag16071947@gmail.com;

Панченко И. Н., к.ю.н., доцент кафедры экономики и морского права Херсонской государственной морской академии, e-mail: irina_pan4enko@rambler.ru

В работе рассмотрены изменения в терминологии, вызванные принятием Конвенции по обмеру судов 1969 года. Работа может быть использована при изучении курса теории и устройства судна, коммерческой эксплуатации судов и других дисциплин.

Ключевые слова: валовая вместимость, чистая вместимость, высота надводного борта.

Введение. Бурное развитие мировой экономики во второй половине XX века является в значительной мере результатом развития транспорта, особенно морского, как основного перевозчика. В самом деле, широкая международная кооперация, которая привела к глобализации промышленности и торговли, была бы невозможной без быстрого и массового перемещения товаров, комплектующих изделий и сырья. В свою очередь, этот процесс нуждается в развитии транспорта, ускорении и удешевлении перевозок при обеспечении сохранности грузов. Рост размеров судов, сокращение времени грузообработки требуют от экипажей судов не только высокого уровня компетентности, но также и умения четко взаимодействовать с грузовладельцами, персоналом грузовых терминалов и другими участниками процесса перевозки грузов, что может быть крайне затруднительным при слабом знании применяемой терминологии или неверном ее толковании.

Цель работы. Исследование применения специальной терминологии в учебных пособиях для судоводителей для определения точности их определения, а также ясности изложения применительно для использования в учебном процессе.

Результаты исследования. Читая курсы специальных дисциплин для судоводителей, авторы данной статьи обратили внимание на часто встречающееся в учебной литературе неверное объяснение некоторых терминов.

Авторами было просмотрено и проанализировано значительное число учебников и пособий на русском и английском языках. Больше всего неточностей и даже неправильного толкования было связано с такими терминами, как валовая и чистая вместимость судна. Наверное это можно объяснить тем обстоятельством, что характеристики судна, выраженные этими терминами, не имеют прямой связи с мореходными качествами судов и обеспечением безопасности мореплавания. Поэтому значению этих терминов должное внимание со стороны судоводителей не уделяется, хотя в коммерческой эксплуатации судна эти характеристики играют большую роль. От их значения зависит очень многое: размер портовых сборов и платы за проход каналами, весьма высокие затраты на переоборудование судна в связи с принятием той или другой международной конвенции, численность судового экипажа и многое, многое другое.

Большая часть этих неточностей появилась в связи с принятием Конвенции, которая вступила в силу 18 июля 1982 года. Судам, построенным до этой даты, был предоставлен срок в 12 лет для пересчета их вместимости в соответствии с требованиями новой конвенции. Этот срок истек 17 июля 1994 года. В настоящее время практически все суда мирового флота имеют мерительные свидетельства, выданные на основании этой конвенции.

Целью принятия Конвенции являлась настоятельная необходимость в упрощении правил обмера судов и определения их вместимости, а также выражение вместимости в понятных единицах. Недостатком предыдущих правил обмера судов являлась усложненность расчетов, использование искусственных, нестандартных единиц обмера – так называемых регистровых тонн, а также возможность, используя недостатки системы обмера, искусственно уменьшать значение вместимости некоторых категорий судов, что

создавало судовладельцам необоснованные преимущества при оплате портовых сборов, различных налогов и некоторых других расходов [7, С. 63–65].

Также нельзя не отметить того обстоятельства, что в значительном числе случаев те изменения в конструкции судов, которые проводились судовладельцами для сокращения расходов за счет уменьшения вместимости судов, существенно снижали их мореходные качества и уровень живучести. В связи с этим нельзя не отметить, что только строительство и эксплуатация так называемых «шельтердечных» судов с их тоннажными люками и вырезами в поперечных переборках приводило к существенному снижению запаса плавучести и затрудняло борьбу с пожарами, давая возможность воде и огню легко распространяться по судну.

Некоторые судовладельцы использовали возможность уменьшить значение вместимости за счет увеличения объема машинного отделения, которое, по действующим тогда правилам обмера, исключалось из подсчета. Так, при расследовании случая гибели парома в порту Гонконг после столкновения с другим судном в 1977 году было установлено, что причиной затопления судна был чрезмерный объем машинного отделения, хотя число и размеры механизмов и оборудования такого объема не требовали [15, Р. 463].

Для лучшего понимания значения Конвенции рассмотрим порядок расчета вместимости судов. При этом следует иметь в виду, что при разработке правил обмера и расчета вместимости, разработчики старались приблизить численные значения валовой и чистой вместимости судов к значениям, полученным по прежним правилам обмера, что сделало формулы расчета несколько громоздкими.

Валовая вместимость представляет собой определяемый обмером объем всех закрытых судовых помещений под верхней палубой и в надстройках, умноженный на коэффициент:

$$GT = K_1 \times V,$$

где $K_1 = 0,2 + 0,02 \lg_{10} V$; V – объем всех закрытых помещений (куб. метры).

Численное значение валовой вместимости характеризует размер судна, что позволяет широко использовать эту характеристику судна в статистике, она приводится во всех судовых свидетельствах, наряду с названием судна, флагом и портом регистрации. Также это значение служит критерием для применения к конкретному судну требований международных конвенций, в частности и СОЛАС 74/78.

Для некоторых категорий судов, однопалубных танкеров и балкеров, изменение значения валовой вместимости, по сравнению с расчетом по предыдущим правилам, было незначительным, а вот для судов типа ро-ро и паромов было получено увеличение на 300%, что, конечно, не вызвало восторга у их владельцев.

Принятие Конвенции сделало невозможным уменьшение значения валовой вместимости за счет исключения из подсчета каких-либо объемов помещений судна, что само по себе уже является большим достижением. Однако, имеется возможность в какой-то, очень незначительной мере, «подправить» эту характеристику судна в нужном для судовладельца направлении. Это возможно осуществить только на стадии проектирования судна. К примеру, при предварительном расчете валовой вместимости получено ее значение 5025, и именно со значения 5000 судну необходимо дополнительно иметь какое-то оборудование. В этом случае имеется возможность соответственно уменьшить объем закрытых помещений судна, скажем, за счет надстройки, сделав какой-то ее ярус меньше по размеру.

Чистая вместимость определяется по формуле:

$$NT = K_2 V_c (4d/3D)^2 + K_3 (N_1 + N_2/10),$$

где V_c – общий объем грузовых помещений в кубических метрах; D – теоретическая высота борта посередине длины судна; d – теоретическая осадка в середине длины судна в метрах; N_1 – число пассажиров в каютах с числом коек не более восьми; N_2 – число остальных

пассажиров; $K_2 = 0,2 + 0,02 \lg_{10} V_c$; $K_3 = 1,25 (GT + 10000) / 10000$; коэффициент $(4d/3D)^2$ не должен приниматься больше единицы; член $K_2 V_c (4d/3D)^2$ не должен приниматься менее $0,25GT$.

По результатам расчета вместимости классификационное общество по запросу правительственного органа страны флага судна выдает международное мерительное свидетельство «International Tonnage Certificate (1969)», на лицевой стороне которого приводятся численные значения валовой и чистой вместимости судна.

На обороте свидетельства приведен список отдельных объемов судна, на основании которых рассчитывались значения вместимости. Этот список включает наименование объема, его расположение и протяженность, а также значения теоретической осадки судна и число пассажиров.

Срока действия свидетельство не имеет. Становится недействительным, если на судне происходят конструктивные изменения, меняется использование и объемы помещений, число пассажиров, высота надводного борта или назначенная осадка.

То обстоятельство, что Конвенция одобрена и признана почти всеми странами, имеющими морской флот, реально показывает ее преимущество перед предыдущими правилами обмера судов. Конвенция ввела новые понятия и отменила старые. В мерительных свидетельствах, выданных на ее основании, приводятся термины «валовая вместимость» и «чистая вместимость», а численные значения этих характеристик выражены в безразмерных величинах.

Соответственно, английские и украинские эквиваленты этих терминов: «Gross tonnage» – «валова місткість», «Net tonnage» – «чиста місткість». Устаревший термин «регистрационные тонны» исключен и применяться не должен. Следует отметить, что в значительном числе учебников и пособий дается правильное толкование валовой и чистой вместимости в полном соответствии с Конвенцией. Особенно ценным для усвоения этого материала является приведение для сравнения ранее действующих правил обмера судов, что позволяет лучше понять и усвоить положения Конвенции [4, 15, 16, 18, 21, 23].

С нашей точки зрения, наиболее удачное объяснение особенностей Конвенции дал М. MacLachlan в своем капитальном труде «The Shipmaster's Business Companion»: «величины вместимости, в отличие от ранее применяемых Правил обмера, не предусматривают использование каких-либо специальных единиц как «тонны», «валовые тонны», «чистые тонны», а применяются без указания единиц...»нет необходимости в использовании таких терминов как «обмерная палуба», «вычитаемое помещение», «неучитываемое помещение», «альтернативная вместимость», «уменьшенная вместимость», «тоннажная марка» (*перевод авторов*) [21, С. 238].

Что же касается неправильного толкования Конвенции, то картина тут пестрая. Прежде всего, надо отметить, что значительное число авторов русскоязычных учебников и пособий, а также редакторов этих изданий, просто «не заметило» принятия Конвенции и с трогательной любовью к старине продолжают излагать со всей подробностью положения отмененных правил обмера судов [2, 3, 5, 6, 11, 12]. Среди англоязычной литературы был найден только один такой учебник [22].

Также имеет значительное распространение «вживление» в правильно представленное описание Конвенции отмененных терминов и определений.

Типичным примером является представление вместо безразмерных величин, как того требует Конвенция, отмененных терминов «регистрационная вместимость» и «регистрационные тонны» [10, 13].

Иногда при правильном изложении правил определения вместимости согласно требований Конвенции, почему-то указывают ее размерность в кубических метрах, хотя в тексте Конвенции четко указано, что числовые значения вместимости являются безразмерными величинами [7, 8]. Забавно представить себе, как можно из числа пассажиров, которое входит в формулу расчета чистой вместимости, получить кубические метры.

В ряде случаев такое явление рождается при переводе. Так, переводя фразу «Cargo ships, including high-speed craft of 500 gross tonnage and upwards» [19, С. 278], переводчик «от себя лично» вставляет отмененный Конвенцией термин, и эта фраза по-русски выглядит следующим образом: «Грузовые суда, включая высокоскоростные валовой вместимостью 500 БРТ и выше» [13, с. 200].

В оправдании переводчика следует отметить, что без отмененного термина БРТ, русская фраза звучит несколько неуклюже, но идти против Конвенции все-таки нельзя, тем более в учебной литературе. Авторы рекомендовали бы заменить отмененный термин действующим, применив вместо «БРТ» слово «единиц», что улучшает текст и никоим образом не противоречит требованиям Конвенции.

И особенно неприятным фактом, с точки зрения авторов, является приведенных в некоторых, к счастью, весьма редких изданиях, совершенно невнятных и запутанных объяснений, содержащих смесь понятий Конвенции и отмененной системы обмера судов. Так, в очень подробной и хорошо иллюстрированной энциклопедии судостроения Dokkum v. K. Ships Knowledge. A modern Encyclopedia приведено довольно запутанное описание вместимости судна.

Сначала объясняется, что объемные характеристики судна измеряются в регистровых тоннах. Затем очень правильно приводится пояснение расчета валовой вместимости и указывается, что результат расчета является безразмерной величиной. Далее также очень верно указывается, что чистая вместимость измеряется в безразмерных величинах, но расчет ее значения приводится как результат вычета из значения валовой вместимости некоторых объемов: помещений команды, рулевой рубки и т.п. Это объяснение полностью соответствует положениям отмененных правил обмера судов. Согласно же Конвенции, расчет значения чистой вместимости должен производиться без привлечения значения валовой вместимости, а совершенно отдельно, исходя из таких характеристик судна как его грузовместимость, отношение осадки к высоте борта и числа пассажиров [1, С. 42].

Для энциклопедии, предназначенной для широкого круга читателей, следовало бы подробно привести описание отмененных правил обмера судов, которые применялись долгое время, а также действующей Конвенции с обязательным указанием времени их применения.

И, конечно, не минула чаша сия и нашей украинской периодики. Журнал «Порты Украины» в стремлении повышать профессиональный уровень своих читателей, перепечатал из журнала «Business Times» статью британского журналиста Дэвида Хьюджеса, «так как она помогает избежать путаницы с, казалось бы, общеизвестными терминами» [14, С.18].

Авторы с большим интересом и удовольствием прочитали эту статью, в которой с чисто британским юмором излагается история появления и развития терминологии, применяемой в судоходстве для характеристики судна. Однако, как раз понятие вместимости судна и приводится в статье с вопиющей путаницей. Начинаем с первого предложения статьи, к которому никаких претензий нет: «Если бы я мог получать по 100 USD за каждую статью, прочитанную мною и посвященную «Queen Mary 2», которая весит 150 тыс. тонн брутто», я, вероятно, смог бы себе позволить провести весьма приятный отпуск на борту этого замечательного судна.

Стандартной мерой измерений, говоря о судне, с 1969 года является так называемая «длинная тонна» (Gross Ton). Следует помнить, что «Ton» в данном случае не является мерой массы, несмотря на то, что вообще-то эта типично английская мера равна 1016 кг. Если речь заходит о судах, имеется в виду объем: $1 \text{ Gross Ton} = 2,78 \text{ м}^3$. Именно поэтому, вопреки обыкновению, не следует писать «тонна» и представлять ее себе как принятую Международной системой единиц меру массы, равную 1000 кг» [14, С.18].

Вот это второе предложение и является «смесью» положения отмененных правил обмера судов вообще неизвестно с чем, так как вместимость судна в длинных тоннах никогда не измерялась.

Но вместимость является не просто одной из многих характеристик судна. Чистую вместимость англичане называют «earning capacity» т.е. зарабатывающей. Исходя из ее значения, с судна взимают портовые сборы и некоторые другие платы, поэтому владельцы заинтересованы в снижении ее численного значения. Такую возможность Конвенция им предоставляет, так как при ее расчете учитывается отношение осадки судна по летнюю грузовую марку к высоте борта. Поэтому уменьшение осадки судна, т.е. увеличение высоты надводного борта с выдачей нового свидетельства о грузовой марке, вызывает также выдачу нового мерительного свидетельства, в котором будет указано новое, уменьшенное значение чистой вместимости.

Такая практика широко применяется владельцами контейнеровозов и паромов, так как особенности их груза (высокий удельно-погрузочный объем) не дают возможности погрузить судно с полным использованием грузоподъемности. Увеличение высоты надводного борта по инициативе судовладельца не встречает возражений со стороны классификационных обществ.

При этом следует отметить, что законодательство некоторых стран (Багамы, Либерия, Маршалловы острова и Панама) позволяет судам иметь несколько значений высоты надводного борта, и, соответственно, нанесенных грузовых марок и свидетельств о грузовой марке и мерительных свидетельств (multiple load lines). Понятно, что действующим значением высоты надводного борта и соответствующими свидетельствами в какой-то отрезок времени будет только одно какое-то значение. Остальные грузовые марки должны закрашиваться, а свидетельства изыматься из комплекта судовых документов. Использование этой возможности позволяет существенно уменьшить уровень расходов судна при перевозке легких грузов [21, С. 248].

Выводы. Применение Международной Конвенции по обмеру судов 1969 года оказывает большое положительное влияние на торговое мореплавание. Стало невозможным уменьшить значение валовой и чистой вместимости за счет изъятия из подсчета объемов каких-то отдельных помещений. Самым положительным образом это отразилось на мореходных качествах судов и их живучести, так как теперь нет никакой необходимости строить шельтердечные суда и неоправданно увеличивать объем машинного отделения.

Значения валовой и чистой вместимости, рассчитанные по Конвенции, реальнее характеризуют размеры судна. Примерно на 50 % сокращается время расчета вместимости судна. Возможность изменения таких характеристик судна, как высота надводного борта и связанной с ней чистой вместимости судна дает возможность существенно уменьшить уровень портовых сборов при перевозке высококубатурных грузов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международная Конвенция по обмеру судов 1969 года. М. 1970. 68 с.
2. Винников В. В. Экономика и эксплуатация морского транспорта. Одесса: Феникс, 2011. 856 с.
3. Винников В.В. и др. Система технологий на морском транспорте. Одесса: Феникс; Москва: Транслит, 2010. 576 с.
4. Дмитриев В.И. и др. Справочник капитана. СПб. : Элмор, 2009. 816 с.
5. Донцов С. В. Основы теории судна. Одесса : Латстар, 2001. 136 с.
6. Забелин В.Г. Фрахтовые операции во внешней торговле. Москва : Росконсульт, 2000. 256 с.
7. Немчиков В. И. Организация работы и управление морским транспортом. М. Транспорт, 1982. 343 с.

8. Николаева Л. Л., Цымбал Н. Н. Морские перевозки : учебник. Одесская национальная морская академия. Одесса : Феникс, 2005. 425 с.
9. Организация и планирование работы флота / под ред. А.М. Союзова. М.:Транспорт, 1979. 416 с.
10. Рябченко В. К., Кучер Ю. Л. Устройство судна. Одесса : Феникс, 2006. 118 с.
11. Снопков В. И. Технология перевозки грузов морем. М. : Академкнига, 2006. 557 с.
12. Фрид Е.Г. Устройство судна. Л. : Судостроение, 1990. 344 с.
13. Хаус Д.Дж. / Авторский перевод Д.Д. Соколова. Морские грузовые работы и операции / Практическое пособие. М: Моркнига, 2010. 328 с.
14. Хьюджес Д. Тонны, туны, теусы. Порты Украины. № 4 (86) 2009 с.18-19.
15. Bes' Chartering and Shipping terms. Eleventh edition by Norman J. Lopez. London, Barker & Howard Ltd, 1992. 642 p.
16. Clark I.C. The Management of Merchant Ship Stability, Trim & Strength. London, Nautical Institute, 2002. 293 p.
17. Dokkum v. K. Ships Knowledge. A modern Encyclopedia. Dokmar, Enkhuizen, The Netherlands, 2003. 341 p.
18. Eyres D.J. Ship Construction. London, Butterworth-Heinemann, 2001. 354 p.
19. House D.J. Cargo Work for Maritime Operations. London, Butterworth-Heinemann, 2005. 323 p.
20. Hopkins M.R. Business and Law For The Shipmasters. Brown, Son and Ferguson Ltd, Glasgow, 1993. 900 p.
21. MacLachlan M. The Shipmaster's Business Companion. London, The Nautical Institute, 2004. 810 p.
22. Pursey H.J. Merchant ship stability. Brown, Son and Ferguson Ltd, Glasgow. 1996. 201 p.
23. Rawson K.J., Tupper E.C. Basic Ship Theory. Vol. 2, London, Butterworth-Heinemann, 2001. 731 p.

REFERENCES

1. Mezhdunarodnaya Konvenciya po obmeru sudov 1969 goda. M., 1970. 68 s.
2. Vinnikov V. V. Ehkonomika i ehkspluatatsiya morskogo transporta. Odessa: Feniks, 2011. 856 s.
3. Vinnikov V.V. i dr. Sistema tekhnologiy na morskom transporte. Odessa: Feniks; Moskva: Translit, 2010. 576 s.
4. Dmitriev V.I. i dr. Spravochnik kapitana. SPb. : Ehlmor, 2009. 816 s.
5. Doncov S. V. Osnovih teorii sudna. Odessa : Latstar, 2001. 136 s.
6. Zabelin V.G. Frakhtovihe operacii vo vneshneyj trgovle. Moskva : Roskonsuljt, 2000. 256 s.
7. Nemchikov V. I. Organizaciya rabotih i upravlenie morskim transportom. M. Transport, 1982. 343 s.
8. Nikolaeva L. L., Cihmbal N. N. Morskie perevozki : uchebnik. Odesskaya nacionaljnaya morskaya akademiya. Odessa : Feniks, 2005. 425 s.
9. Organizaciya i planirovanie rabotih flota / pod red. A.M. Soyuzova. M.:Transport, 1979. 416 s.
10. Ryabchenko V. K., Kucher Yu. L. Ustroyjstvo sudna. Odessa : Feniks, 2006. 118 s.
11. Snopkov V. I. Tekhnologiya perevozki грузов morem. М. : Akademkniga, 2006. 557 s.
12. Frid E.G. Ustroyjstvo sudna. L. : Sudostroenie, 1990. 344 s.
13. Khaus D.Dzh. / Avtorskiy perevod D.D. Sokolova. Morskie грузовihe rabotih i operacii / Prakticheskoe posobie. M: Morkniga, 2010. 328 s.
14. Khjyudzhesh D. Tonnih, tunih, teusih. Portih Ukrainih. № 4 (86) 2009. S.18-19.

Лошкар'єв О.Г., Панченко І.М. ЦІ НЕРЕГІСТРОВІ ТОННИ

У роботі розглядаються зміни в термінології, спричинені набранням чинності Конвенції по обміру суден 1969 року. Робота може бути використана при вивченні курсу теорії будови суден, комерційної експлуатації суден та інших дисциплін.

Ключові слова: валова місткість, чиста місткість, висота надводного борту.

Loshkarov O., Panchenko I. THOSE NON-REGISTERED TONS

The work shows the changes in terminology stipulated by adoption of Tonnage Convention 1969. The work can be used for the study of shipping business and other subjects. The application of the 1969 International Convention on the Measurement of Ships has a great positive effect on merchant shipping. It has become impossible to reduce the value of gross and net capacity by removing from the calculation of the volumes of some individual rooms. In the most positive way, this affected the seaworthiness of the ships and their survivability, since now there is no need to build shelterdecks and unjustifiably increase the volume of the engine room.

Gross and net tonnage values calculated by the Convention more accurately characterize the size of the vessel. Approximately 50 % reduction in the calculation of the vessel's capacity. The possibility of changing such characteristics of the vessel as the freeboard height and the associated net capacity of the vessel makes it possible to significantly reduce the level of port charges when transporting high-volume cargo.

Key words: gross tonnage, net tonnage, freeboard.

© Лошкар'єв О. Г., Панченко І. М.

Статтю прийнято
до редакції 18.04.18

УДК 656.61.052

АНАЛИЗ ВЕКТОРИАЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ

Северин В. В., аспирант Национального университета «Одесская морская академия», e-mail: burmaka-mob@ukr.net;

Казак Ю. В., аспирант Национального университета «Одесская морская академия»;

Пасечнюк С. С., аспирант Национального университета «Одесская морская академия»

Выявлены факторы, ведущие к появлению векториальных погрешностей поворота судна, которыми являются погрешность перекладки пера руля и погрешность момента времени начала маневра поворота. Показан механизм формирования векториальных погрешностей поворота и получены формулы оценки значений векториальной погрешности поворота судна при появлении погрешности перекладки пера руля и погрешности момента времени начала маневра поворота.

Предложена процедура определения величины векториальной погрешности поворота судна, возникающая из-за погрешности перекладки пера руля и зависящая от выбранной динамической модели вращательного движения судна. Получены аналитические выражения для оценки величины векториальной погрешности для динамической модели вращательного движения судна третьего порядка, которая наиболее адекватная реальному процессу поворота судна.

Сделано предположение о законе распределения составляющих векториальной погрешности поворота, в качестве которого предлагаются смешанные законы распределения вероятностей первого и второго типов.

Ключевые слова: безопасность судовождения, векториальная погрешность поворота, погрешность перекладки пера руля, погрешность момента времени начала маневра поворота, динамическая модель вращательного движения.

Постановка проблемы. Обеспечение безопасности судовождения в стесненных районах плавания является одной из наиболее актуальных проблем мореплавания. С ее решением связано снижение числа навигационных аварий, возникающих из-за посадок судов на мель. Вероятность возникновения навигационных аварий можно снизить повышением точности управления судном при выполнении им поворотов, т.е. минимизацией векториальных погрешностей поворота.

Поэтому следует выявить существенные факторы, влияющие на формирования таких погрешностей, и предупредить их отрицательное влияние на процесс судовождения.

Анализ последних достижений и публикаций. В работе [1] впервые предложена оценка надежности судовождения, т.е. влияния позиционной погрешности судна на навигационную безопасность, причем учитывалась только позиционная векториальная погрешность определения места судна при его прохождении ряда последовательных точечных навигационных опасностей. в работах [2, 3] отражено дальнейшее развитие этого направления исследований, причем критерий навигационной безопасности обоснован в работе [2], в работе [3] рассмотрены два эквивалентные подхода к оценке вероятности безаварийной проводки судна по заданному маршруту. Данные работы для оценки навигационной безопасности учитывают только позиционную погрешность при следовании судна прямолинейными участками программной траектории, однако следует также учитывать и векториальную погрешность поворота судна, чему посвящена работа [4]. Сравнительный анализ математических моделей вращательного движения судна при повороте рассмотрен в работе [5], а в работе [6] представлены результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики при повороте.

Оценка эффективности обсервованных координат судна при избыточных линиях положения произведена в работе [7], показано, что при смешанных законах распределения эффективность меньше единицы, и с ростом существенного параметра она стремится по величине к единице.

Вопрос разработки информационной системы имитационного моделирования движения судов со сложными динамическими моделями освещен в работе [8], которая позволит обеспечить новый тип планирования маневров судна и контроль проведения

выполняемого маневра с поточным отображением заданного маневра одновременно с фактическим движением судна и с индикацией прогнозируемой траектории.

Как указывается в работе [9], анализ статистических материалов показал, что предположение о распределении случайных погрешностей определения широты и долготы по закону Гаусса не является корректным и требует альтернативного подхода.

Цель статьи. Цель настоящей статьи – выявление механизма формирования векториальных погрешностей управления судном и формализация процедуры их оценки.

Изложение основного материала. Векториальная траекторная погрешность поворота судна $S^{(\Sigma)}$ относительно прогнозируемой точки выхода судна на очередной участок программной траектории появляется по причине погрешности перекладки пера руля $\Delta\beta_k$ или погрешности момента времени начала поворота Δt . Вначале рассмотрим векториальную погрешность $S^{(\beta)}$, которая возникает из-за погрешности перекладки пера руля $\Delta\beta_k$. С этой целью обратимся к рис. 1. Если угол перекладки руля β_k не содержит погрешности, то к концу маневра поворота судно окажется на новом участке программной траектории в точке М и векториальная погрешность $S^{(\beta)}$ не возникает. При наличии погрешности $\Delta\beta_k$ угол перекладки руля равен $\beta_k + \Delta\beta_k$, и к концу маневра, когда судно достигает курса K_y , оно оказывается в точке N. Погрешность $S^{(\beta)}$ определяется величиной отрезка MN, а ее составляющие $S_x^{(\beta)}$ и $S_y^{(\beta)}$ равны:

$$S_x^{(\beta)} = x_N - x_M \text{ и } S_y^{(\beta)} = y_N - y_M, \quad (1)$$

где x_M и y_M – координаты точки М; x_N и y_N – координаты точки N.

Для определения координат точек М и N рассмотрим динамическую модель вращательного движения судна с постоянной угловой скоростью, согласно которой приращение координат точки М за время поворота определяется выражениями:

$$x_M = \frac{V_0}{k_\omega \beta_k} (\cos K_0 - \cos K_y), \quad y_M = \frac{V_0}{k_\omega \beta_k} (\sin K_y - \sin K_0),$$

где k_ω – коэффициент эффективности руля.

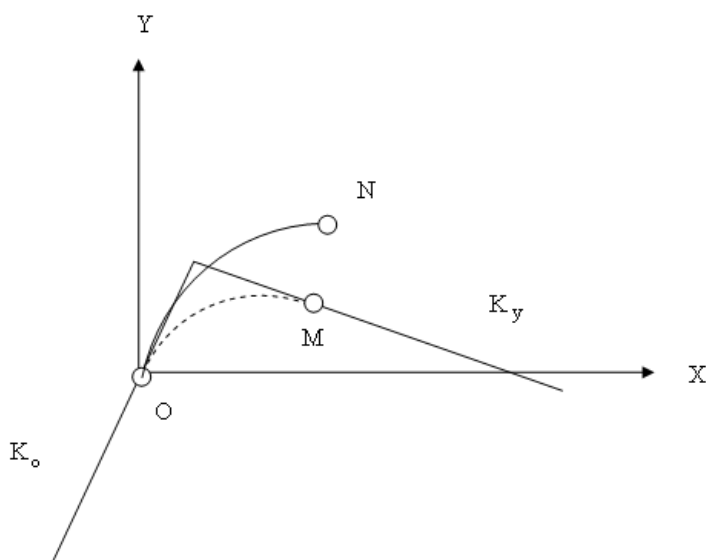


Рисунок 1 – Возникновение векториальной погрешности $S^{(\beta)}$

Аналогічно находим выражения для координат X_N и Y_N точки N, учитывая, что угол перекладки пера руля увеличился на величину погрешности $\Delta\beta_k$:

$$x_N = \frac{V_o}{k_{\omega} (\beta_k + \Delta\beta_k)} (\cos K_o - \cos K_y),$$

$$y_N = \frac{V_o}{k_{\omega} (\beta_k + \Delta\beta_k)} (\sin K_y - \sin K_o).$$

С учетом выражения (1) и того, что $\beta_k \gg \Delta\beta_k$, составляющие $S_x^{(\beta)}$ и $S_y^{(\beta)}$ векториальной погрешности $S^{(\beta)}$ имеют вид:

$$S_x^{(\beta)} = \frac{-V_o}{k_{\omega}\beta_k^2} (\cos K_o - \cos K_y) \Delta\beta_k,$$

$$S_y^{(\beta)} = \frac{V_o}{k_{\omega}\beta_k^2} (\sin K_y - \sin K_o) \Delta\beta_k.$$

Рассмотрим векториальную погрешность $S^{(t)}$, возникающую из-за погрешности момента времени начала поворота Δt (рис. 2).

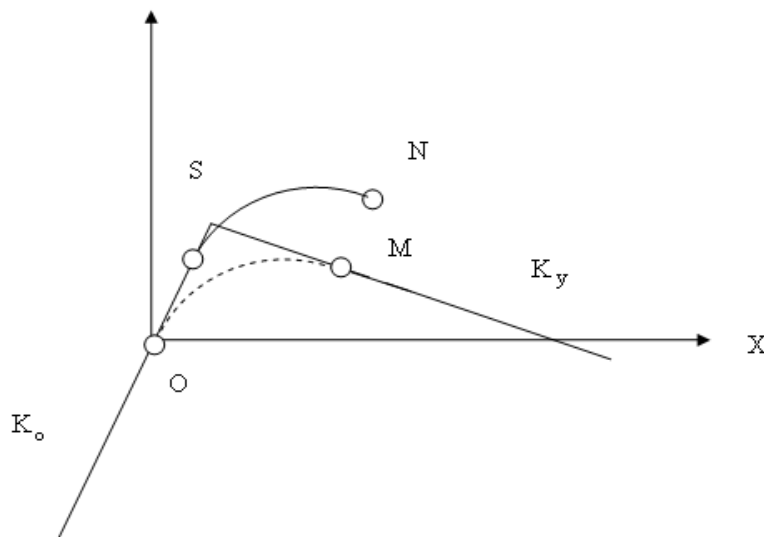


Рисунок 2 – Формирование векториальной погрешности $S^{(t)}$

Как следует из рис. 2, погрешность $S^{(t)}$ равна отрезку MN, который, в свою очередь, совпадает по величине с отрезком OS. Поэтому:

$$S^{(t)} = OS = V_o \Delta t.$$

Составляющие $S_x^{(t)}$ и $S_y^{(t)}$ данной векториальной погрешности имеют вид:

$$S_x^{(t)} = V_o \sin K_o \Delta t,$$

$$S_y^{(t)} = V_o \cos K_o \Delta t.$$

Векториальная траекторная погрешность поворота судна $S^{(\Sigma)}$ определяется очевидным выражением $S^{(\Sigma)} = S^{(\beta)} + S^{(t)}$.

При использовании модели поворотливости судна для оценки векториальной погрешности $S^{(\beta)}$ определяющим обстоятельством является степень соответствия динамической модели вращательного движения судна реальному процессу его поворота. Поэтому рассмотрим способ определения величины $S^{(\beta)}$ при использовании более адекватной модели вращательного движения судна.

В работе [4] рассмотрены различные модели вращательного движения судна, анализ которых показывает, что наиболее адекватная динамическая модель вращательного движения судна описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$T_1 T_2 \ddot{K} + (T_1 + T_2) \dot{K} + K = k_{\omega} \beta_k ,$$

где T_1 и T_2 – постоянные времени, характеризующие инерционные свойства судна; β_k – угол перекладки руля; k_{ω} – коэффициент эффективности руля.

Решение приведенного дифференциального уравнения имеет следующий вид:

$$K = K_0 + \omega_r t + (\omega_0 - \omega_r) \{ T_1^2 [1 - \exp(-t/T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-t/T_2)] \} / (T_1 - T_2) , \quad (2)$$

где ω_0 и ω_r – соответственно начальное значение угловой скорости поворота и частное решение исходного дифференциального уравнения.

Поворот судна содержит две фазы перекладки пера руля. Сначала, на первой фазе, в начальный момент времени производится перекладка руля на угол β_k и руль удерживается в таком положении в течение интервала времени Δt_k . Затем производится перекладка руля на противоположный борт на ту же величину и гасится инерция поворота судна в течение интервала времени Δt , по истечению которого судно выходит на заданный курс, угловая скорость поворота обращается в нуль, а перо руля приводится в диаметрально плоскость судна. На первой фазе поворота, длительность которой составляет интервал времени Δt_k , выражение (2) приобретает следующий вид:

$$K = K_0 + a_{\omega} \{ t - \{ T_1^2 [1 - \exp(-t/T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-t/T_2)] \} / (T_1 - T_2) \} . \quad (3)$$

На второй фазе поворота происходит перекладка руля на противоположный борт на угол $-\beta_k$ и в течение интервала времени Δt происходит одерживание судна. Для этой фазы поворота значение текущего курса описывается зависимостью:

$$\begin{aligned} \tilde{K} = K - a_{\omega} t + \\ a_{\omega} \{ 2 - [T_1 \exp(-\Delta t_k / T_1) - T_2 \exp(-\Delta t_k / T_2)] / (T_1 - T_2) \} \times \\ \{ T_1^2 [1 - \exp(-t/T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-t/T_2)] \} / (T_1 - T_2) . \end{aligned} \quad (4)$$

Для вычисления интервалов времени Δt_k и Δt необходимо составить систему уравнений, которая в общем случае формализует требования поворота на заданное приращение курса ΔK , а также обращение в нуль угловой скорости на момент времени выхода на новый курс и имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \Delta K = K(\Delta t_k) + \tilde{K}(\Delta t) \\ \omega(\Delta t_k, \Delta t) = 0 \end{cases} . \quad (5)$$

С учетом выражений (3) и (4) и системы уравнений (5) находим выражения для расчета интервалов времени Δt_k и Δt методом простых итераций с начальным приближением $\Delta t_k = \Delta K / a_\omega$:

$$\Delta t_k = \Delta t + \{ T_1^2 [1 - \exp(-\Delta t_k / T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-\Delta t_k / T_2)] \} / (T_1 - T_2) - \{ 2 - [T_1 \exp(-\Delta t_k / T_1) - T_2 \exp(-\Delta t_k / T_2)] / (T_1 - T_2) \} \times \{ T_1^2 [1 - \exp(-\Delta t / T_1)] - T_2^2 [1 - \exp(-\Delta t / T_2)] \} / (T_1 - T_2) + \Delta K / a_\omega \dots \quad (6)$$

$$\Delta t = -T_1 \ln \{ (T_2 / T_1) \exp(-\Delta t / T_2) + [(T_1 - T_2) / T_1] \times \{ 2 - [T_1 \exp(-\Delta t_k / T_1) - T_2 \exp(-\Delta t_k / T_2)] / (T_1 - T_2) \}^{-1} \} \}. \quad (7)$$

Таким образом, для расчета величин Δt_k и Δt методом простых итераций, задаваясь предыдущим значением Δt_k , с помощью выражения (7) вычисляется значение Δt , которое затем подставляется в выражение (6) для расчета последующего значения Δt_k .

Для определения погрешности $S^{(\beta)}$ необходимо определить координаты точек М и N. Координаты точки М определяются выражениями:

$$x_M = \int_0^{\Delta t_k} V_o \sin[K_o + K] dt + \int_0^{\Delta t} V_o \sin[K_o + K(\Delta t_k) + \tilde{K}] dt, \quad (8)$$

$$y_M = \int_0^{\Delta t_k} V_o \cos[K_o + K] dt + \int_0^{\Delta t} V_o \cos[K_o + K(\Delta t_k) + \tilde{K}] dt, \quad (9)$$

причем в выражениях (3), (4), (6) и (7) применяем $a_\omega = k_\omega \beta_k$.

Аналогично находятся выражения для координат x_N и y_N точки N, только при их расчете по формулам (8) и (9) значение $a_\omega = k_\omega (\beta_k + \Delta \beta_k)$. При расчете координат с помощью (8) и (9) определенные интегралы, которые входят в эти формулы, не выражаются в элементарных функциях и их значения находятся численными методами, например, используется метод Симпсона.

Закон распределения вероятностей, составляющих $S_x^{(\beta)}$ и $S_y^{(\beta)}$ случайной векториальной погрешности, определяется законом распределения погрешностей реализации маневра поворота судна, т. е. погрешности перекладки пера руля $\Delta \beta_k$ и погрешности момента времени начала поворота Δt .

Как показано в работе [10], анализ статистических материалов, полученных в натурных наблюдениях в реальных условиях эксплуатации, показал, что погрешности измерений навигационных параметров подчиняются смешанным законам распределения двух типов, плотности которых имеют вид [11]:

$$f_1(x) = \frac{2^n \alpha^{n+\frac{1}{2}} n!}{\sqrt{2\pi} 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)} \frac{1}{(x^2 / 2 + \alpha)^{n+1}}, \quad (n \leq 6),$$

$$f_2(x) = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \alpha^{n+1}}{\sqrt{2} 2^{n+1} n!} \frac{1}{(x^2 / 2 + \alpha)^{n+3/2}}, \quad (n \leq 5),$$

где α – масштабный параметр; n – существенный параметр.

Следовательно, можно предположить, что составляющие $S_x^{(\beta)}$ и $S_y^{(\beta)}$, как случайные величины, могут подчиняться смешанным законам распределения двух типов.

Выводы

1. Показано, что факторами, которые ведут к появлению векториальных погрешностей поворота судна, являются погрешности перекладки пера руля и момента времени начала маневра поворота.
2. Получены аналитические выражения для оценки величины векториальной погрешности поворота судна в зависимости от погрешности перекладки пера руля и погрешности момента времени начала маневра поворота.
3. Рассмотрено влияние типа динамической модели вращательного движения судна, выбранной для прогноза траектории поворота, на величину векториальной погрешности поворота.
4. Обосновано предположение о законе распределения составляющих векториальной погрешности поворота, в качестве которого предлагаются смешанные законы распределения вероятностей первого и второго типов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондрашихин В.Т. Определение места судна. М. : Транспорт, 1989. 230 с.
2. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения. *Судовождение*. 2002. № 5. С. 65–73.
3. Ворохобин И. И., Северин В. В., Казак Ю. В. Эквивалентность оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе. *Судовождение: сб. научн. трудов ОНМА*. 2015. Вып. 25. С. 47–55.
4. Ворохобин И. И., Казак Ю. В. Векториальные погрешности, возникающие при повороте судна. *Судовождение: сб. научн. трудов ОНМА*. 2016. Вып. 26. С. 56–59.
5. Kalinichenko Y., Burmaka I. Analysis of mathematical models of changing the vessel's course when turning. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. 6/9 (84). P. 20–31.
6. Бурмака И. А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики. *Судовождение: сб. научн. трудов*. 2005. №10. С. 21–25.
7. Бурмака И. А., Астайкин Д. В., Алексейчук Б. М. Оценка эффективности обсервованных координат судна при избыточных измерениях. *Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. Санкт-Петербург, 2016. Выпуск 1 (35). С. 24–29.
8. K. Benedict, M. Kirchhoff, M. Gluch, S. Fischer, M. Schaub, M. Baldauf, S. Klaes Simulation Augmented Manoeuvring Design and Monitoring – a New Method for Advanced Ship Handling. *TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport*. 2014. Vol. 8, № 1, P. 131–141.
9. Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. What is the accuracy of DGPS? *J. Navig.* 2005. 58, № 2, P. 207–225.
10. Алексейчук Б. М., Пасечнюк С.С. Идентификация закона распределения погрешностей измерений. *Судовождение : сб. научн. трудов. / ОНМА*. Одесса : «ИздатИнформ», 2016. Вып. 27 С. 10–14.
11. Астайкин Д. В., Алексейчук Б. М. Идентификация законов распределения навигационных погрешностей смешанными законами двух типов. *Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сб.* Одесса: ОНМА, 2014. Вып. 20. С. 3–9.

REFERENCES

1. Kondrashikhin V.T. Location of ship / Kondrashikhin V.T. M.: Transport, 1989. 230s.
2. Melnik E.F. Ground of choice of criterion of navigation safety of navigator / Melnik E.F. // *Sudovozhdenye*. – 2002. – № 5. – P. 65–73.

3. Vorokhobin I.I. Equivalence of estimation of probability of the accident-free sailing of ship in the straitened district / I.I.Vorokhobin, V.V. Severin, Y.V. Kazak // Sudovozhdenye : sb. nauchn. trudov. 2015. Vyp. 25. – P. 47 – 55.
4. Vorokhobin I.I. Vektor's errors arising up at the turn of ship/ I.I. Vorokhobin, Y.V. Kazak // Sudovozhdenye: sb. nauchn. trudov. – 2016. – Vyp. 26. – P. 56–59.
5. Kalinichenko Y. Analysis of mathematical models of changing the vessel's course when turning. / Y. Kalinichenko, I. Burmaka // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – 6/9 (84). – P. 20–31.
6. Burmaka Y.A. Results of imitation design of process of divergence of vessels taking into account their dynamics / Burmaka Y.A. // Sudovozhdenye: sb. nauchn. trudov. – 2005. – № 10. – P. 21–25.
7. Burmaka I.A. Estimation of efficiency of coordinates of ship at the surplus measuring / Burmaka I.A., Astaykin D.V., Alekseychuk B.M. // Vestnik Gosudarstvennogo univtrsiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. Sankt-Peterburg. – 2016. – Vypusk 1 (35). – P. 24 - 29.
8. K. Benedict. Simulation Augmented Manoeuvring Design and Monitoring – a New Method for Advanced Ship Handling / K. Benedict, M. Kirchhoff, M. Gluch, S. Fischer, M. Schaub, M. Baldauf , S. Klaes // TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 8, № 1, page 131-141, 2014.
9. Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207-225.
10. Alekseychuk B.M. Authentication of law of distributing of errors of measuring / Alekseychuk B.M., Pasechnyuk S.S. // Sudovozhdenie: Sb. nauchn. trudov. / ONMA, Vyp. 27. – Odessa: «IzdatInform», 2017. – P. 10–14.
11. Astayrin D.V. Authentication of laws of distributing of navigation errors by the mixed laws of two types / Astayrin D.V., Alekseychuk B.M. // Avtomatizatsiya sudovyh tehnicytskikh sredstv: nauch.-tehn. sb. – 2014. – Vyp. 20. Odessa: ONMA. – P. 3–9.

Северін В. В., Казак Ю. В., Пасечнюк С. С. АНАЛІЗ ВЕКТОРІАЛЬНИХ ПОХИБОК УПРАВЛІННЯ СУДНОМ

Виявлені чинники, що ведуть до появи векторіальних похибок повороту судна, якими є похибка перекладання керма і похибка моменту часу початку маневру повороту. Показаний механізм формування векторіальних похибок повороту й одержані формули оцінки значень векторіальної похибки повороту судна при появі похибки перекладання керма і похибки моменту часу початку маневру повороту.

Запропонована процедура визначення величини векторіальної похибки повороту судна, яка виникає через похибку перекладання керма і залежна від вибраної динамічної моделі обертального руху судна. Одержані аналітичні вирази для оцінки величини векторіальної похибки для динамічної моделі обертального руху судна третього порядку, яка найбільш адекватна реальному процесу повороту судна.

Зроблено припущення про закон розподілу складових векторіальної похибки повороту, яким пропонуються змішані закони розподілу вірогідності першого і другого типів.

Ключові слова: безпека судноводіння, векторіальна похибка повороту, похибка перекладання керма, похибка моменту часу початку маневру повороту, динамічна модель обертального руху.

Severin V. V., Kazak Y. V., Pasechnyuk S. S. ANALYSIS OF VECTOR'S ERRORS OF MANAGEMENT BY A SHIP

Factors, conducing to appearance of vector's errors of turn of ship, which the error of change of position of feather of helm and error of moment of time of beginning of maneuver of turn are, are exposed. The mechanism of forming of vector's errors of turn is shown and the formulas of estimation of values of vector's error of turn of ship at appearance of error of change of position of feather of helm and error of moment of time of beginning of maneuver of turn are got.

Procedure of determination of size of vector's error of turn of ship is offered, arising up from the error of change of position of feather taxiing and depending on the chosen dynamic model of rotatory motion of ship. Analytical expressions for estimation of size of vector's error for the dynamic model of rotatory motion of ship of the third order, which most adequate to the real process of turn of ship, are got.

Supposition about the law of distributing of constituents of vector's error of turn is done, which the mixed laws of probability distribution of the first and second types are offered as.

Keywords: safety of navigator, vector's error of turn, error of change of position of feather taxiing, error of moment of time of beginning of maneuver of turn, dynamic model of rotatory motion.

© Северін В. В., Казак Ю. В., Пасечнюк С. С.

Статтю прийнято
до редакції 23.01.18

ВИЗНАЧЕННЯ ГАЛЬМІВНОГО ШЛЯХУ НА МІЛКОВОДДІ

Товстокорий О. М., к.т.н., завідувач кафедри управління судном Херсонської державної морської академії;

Буряк О. О., аспірант кафедри управління судном Херсонської державної морської академії

У роботі запропоновано визначити залежність гальмівного шляху судна на мілководді від зменшення глибини під кілем.

Завдяки зменшенню запасу води під кілем поведінка судна змінюється, тобто змінюються його маневрені характеристики. Має дуже важливе значення можливість знати, яким чином це стається. В сучасних обставинах цю проблему можна досліджувати, використовуючи сучасні електронні тренажери-симулятори.

До того ж, можна визначити, як результати експериментів на тренажері відповідають теоретичним викладкам різних авторів щодо цього питання.

Ключові слова: гальмівний шлях, мілководдя, запас глибини під кілем, тренажер-симулятор.

Постановка проблеми в загальному вигляді. При плаванні на мілководді поведінка суден змінюється завдяки впливу нових сил, що обумовлені наявністю близько розташованого дна моря. Вплив мілководдя досліджувався і досліджується досить багато разів і у різних місцях. Так, виявлені закономірності впливу мілководдя на маневрені характеристики суден залежно від швидкості, форми суден та коефіцієнтів їхньої повноти, частково досліджена залежність від запасу води під кілем. Більш детальному дослідженню залежності маневрених елементів від запасу води під кілем заважають об'єктивні перешкоди, як-от і складність знайти ділянки моря з рівним рельєфом та глибинами, які поступово зменшуються та потреба проводити багато експериментів з діючими суднами, що потребує багато часу та великих матеріальних витрат. З виникненням електронних тренажерів-симуляторів такі експерименти стало можливим проводити з набагато меншими складнощами.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Багато авторів у різних виданнях приділяють увагу цьому питанню.

Так, Кубачев М. А. [1] вважає, що вибіг судна при вільному гальмуванні на мілководді завжди менший, ніж на глибокій воді завдяки збільшенню опору води. Особливо це проявляється на граничному мілководді та великих швидкостях.

Ліхачов А. В. в [2] стверджує, що при однаковій початковій швидкості гальмівний шлях на мілководді і на глибокій воді відрізняються незначно.

Clark I. C. в [3] заявляє, що мінімальний гальмівний шлях судна при будь-якій швидкості зростає зі зменшенням глибини води. Це стається завдяки збільшенню маси судна і приєднаних мас води.

Daniel H. MacElrevey and Daniel E. MacElrevey в [4] зважають, що втрата швидкості при застопореному двигунові на мілководді завжди менша, ніж на глибокій воді і гальмівний шлях більший на мілководді.

Шарлай Г. М. в [5] також стверджує, що при однаковій початковій швидкості гальмівний шлях на мілководді і на глибокій воді відрізняються несуттєво.

Єрмолаєв Г. Г. в [6] вважає, що на мілководді гальмівні шляхи, як пасивного, так і активного гальмування, збільшуються.

Постановка завдання. Таким чином, у підручниках по управлінню суден існують принаймні, три варіанти поведінки судна при пасивному гальмуванні. Нашим завданням буде або підтвердити один із запропонованих варіантів, або знайти свій особливий. Для цього ми використаємо тренажер-симулятор «TRANZAS 5000».

Викладення матеріалу дослідження. Для проведення експериментів використаємо наступні моделі суден, тактико-технічні дані яких зведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Тактико-технічні дані суден, які задіяні в експерименті

№	Назва судна	Водотоннажність <i>m</i>	$T_{из}$, м	$T_{кз}$, м	C_b	L_{pp}/B
1	Балкер у баласті	44081	7,4	8,0	0,818	6,718
2	Балкер у вантажі	64062	10,9	10,9	0,837	6,718
3	Автомобілевоз	19587	6,6	6,9	0,486	5,882
4	Контейнеровоз MAERSK	191000	13,7	13,7	0,66	6,732
5	Контейнеровоз MSC	32025	9,6	10,0	0,678	7,587
6	Пасажи́рське судно	44000	8,0	8,0	0,647	6,966
7	Судно-постачальник для шельфу	5291	6,6	6,6	0,644	3,85
8	Пасажи́рський пором-ролкер	7797	5,3	5,3	0,552	4,864
9	Танкер для роботи на шельфі	160529	15,9	15,9	0,84	5,696
10	Судно ріка–море СОРМОВСЬКИЙ	4514	3,4	3,6	0,849	8,455
11	Танкер	135000	14,9	14,9	0,879	5,365

Для усіх суден робимо експеримент маневру пасивного гальмування на різних глибинах H , які співвідносяться до осідання d у пропорціях $H = 1,1d; 1,25d; 1,5d; 2d; 3d; 4d$; гранична глибина, при якій відчувається мілководдя; глибока вода. Початкова швидкість – максимальна швидкість, яку може розвинути конкретне судно на мінімальній глибині. Кінцева швидкість – швидкість, при якій судно ще може утримуватись на курсі. Кермо – в положенні «автостерновий». Замірялася максимальна відстань у морських милях, яку пройшло судно до кінця експерименту. Результати заносилися в табл. 2.

Таблиця 2 – Гальмівні шляхи пасивного гальмування суден, що задіяні в експерименті, в морських милях

№	Назва судна	1,1d	1,25d	1,5d	2d	3d	4d	ГГ	ГВ
1	Балкер у баласті	2,378	2,359	2,364	2,331	2,273	2,289	2,549	2,543
2	Балкер у вантажі	3,618	3,576	3,483	3,457	3,445	3,442	3,639	3,722
3	Автомобілевоз	1,862	1,833	1,770	1,745	1,717	1,706	1,758	1,769
4	Контейнеровоз MAERSK	8,797	8,623	7,695	7,111	6,554	6,461	6,71	6,718
5	Контейнеровоз MSC	2,455	2,406	2,293	2,207	2,132	2,124	2,192	2,183
6	Пасажи́рське судно	1,573	1,595	1,929	2,219	2,318	2,414	2,402	2,503
7	Судно-постачальник для шельфу	0,553	0,429	0,443	0,476	0,51	0,549	0,56	0,556
8	Пасажи́рський пором-ролкер	0,381	0,396	0,413	0,436	0,473	0,486	0,485	0,479
9	Танкер для роботи на шельфі	4,075	4,063	4,015	4,004	3,995	3,984	4,21	4,212
10	СОРМОВСЬКИЙ	1,097	1,084	1,074	1,102	1,091	1,09	1,24	1,246
11	Танкер	4,851	4,574	4,513	4,71	5,149	5,499	5,508	5,515

За даними цієї таблиці побудуємо графік, де простежимо залежність гальмівного шляху різних типів суден від глибини моря (рис. 1).

Для того щоб мати можливість порівняти відхилення величини гальмівного шляху при зменшенні глибини моря від початкового гальмівного шляху пасивного гальмування на глибокій воді перебудуємо цей графік за новою схемою. Гальмівну відстань для кожного судна на глибокій воді, приймемо за 100%. Інші гальмівні шляхи порахуємо у відсотках до гальмівного шляху на глибокій воді. Результати занесемо в табл. 3.

За даними цієї таблиці знов побудуємо графік, де простежимо залежність пасивних гальмівних шляхів різних типів суден від глибини моря, але вже у відсотках від гальмівних шляхів на глибокій воді (рис. 2).



Рисунок 1 – Залежність гальмівного шляху різних типів суден від глибини моря

Таблиця 3 – Гальмівні шляхи пасивного гальмування суден, що задіяні в експерименті, у відсотках від гальмівних шляхів на глибокій воді

№	Назва судна	1,1d	1,25d	1,5d	2d	3d	4d	ГГ	ГВ
1	Балкер у баласті	94	93	93	92	89	90	100	100
2	Балкер у вантажі	97	96	94	93	93	92	98	100
3	Автомобілевоз	105	104	100	99	97	96	99	100
4	Контейнеровоз MAERSK	131	128	115	106	98	96	100	100
5	Контейнеровоз MSC	112	110	105	101	98	97	100	100
6	Пасажи́рське судно	63	64	77	89	93	96	96	100
7	Судно-постачальник для шельфу	99	77	80	86	92	99	101	100
8	Пасажи́рський пором-ролкер	80	83	86	91	99	101	101	100
9	Танкер для роботи на шельфі	97	96	95	95	95	95	100	100
10	СОРМОВСЬКИЙ	88	87	86	88	88	87	100	100
11	Танкер	88	83	82	85	93	100	100	100

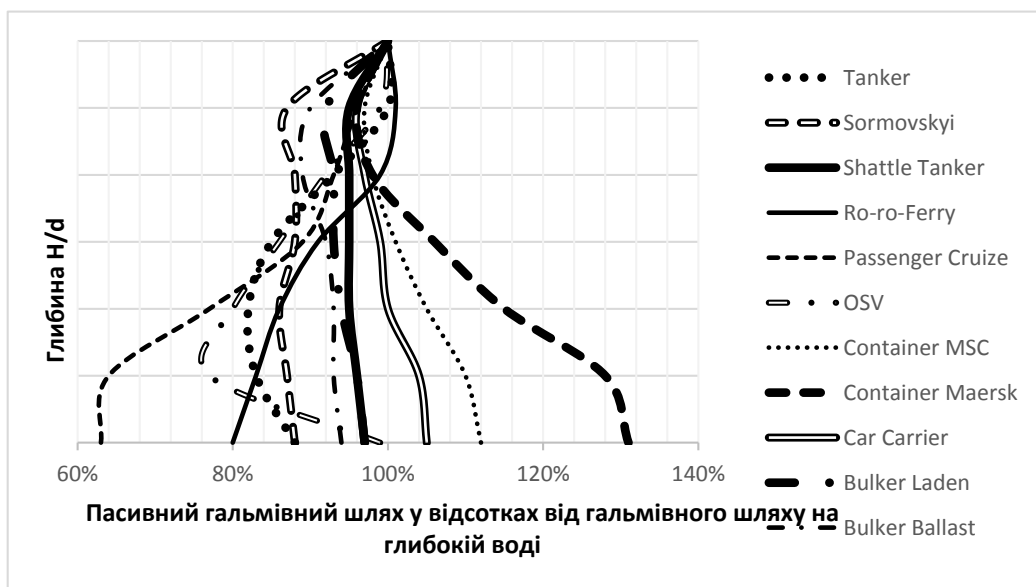


Рисунок 2 – Залежність пасивних гальмівних шляхів різних типів суден від глибини моря, у відсотках від гальмівних шляхів на глибокій воді

Проаналізувавши цей графік, можна сказати, що з 11 суден у двох суден гальмівний шлях пасивного гальмування на мілководді збільшився (контейнеровоз MAERSK – на

31 %, контейнеровоз MSC – на 12 %); у чотирьох зменшився (пасажирське судно – на 37 %, пасажирський пором-ролкер – на 20 %, Сормовський – на 12 %, танкер – на 12 %) на 5 суднах – зміна не перевищувала 5 %, що можна вважати відстань практично не змінилася (балкер в баласті, балкер в вантажі, автомобілевоз, судно-постачальник для шельфу, танкер для роботи на шельфі). До того ж треба додати, що у двох суден графіки не мають постійної тенденції до зростання або до зниження (судно-постачальник для шельфу і танкер).

Для того щоб провести повний аналіз гальмівних шляхів цих типів суден на тренажері-симуляторі вважаємо за потрібне провести експерименти активного гальмування на цих же суднах в тих же самих умовах.

Результати цих експериментів занесені в табл. 4.

Таблиця 4 – Гальмівні шляхи активного гальмування суден, що задіяні в експерименті, в морських милях

№	Назва судна	1,1d	1,25d	1,5d	2d	3d	4d	ГВ
1	Балкер в баласті	0,531	0,511	0,49	0,391	0,314	0,32	0,3
2	Балкер в вантажі	0,653	0,632	0,569	0,5	0,479	0,463	0,459
3	Автомобілевоз	0,444	0,448	0,447	0,443	0,44	0,439	0,449
4	Контейнеровоз MAERSK	0,936	0,925	0,866	0,829	0,825	0,81	0,813
5	Контейнеровоз MSC	0,56	0,546	0,499	0,468	0,473	0,476	0,473
6	Пасажирське судно	0,378	0,376	0,398	0,402	0,401	0,408	0,39
7	Судно-постачальник для шельфу	0,06	0,058	0,062	0,059	0,06	0,055	0,06
8	Пасажирський пором-ролкер	0,099	0,101	0,103	0,107	0,105	0,098	0,099
9	Танкер для роботи на шельфі	0,93	0,925	0,915	0,892	0,884	0,868	0,869
10	СОРМОВСЬКИЙ	0,234	0,226	0,209	0,208	0,196	0,188	0,193
11	Танкер	1,355	1,276	1,233	1,208	1,213	1,22	1,213

За даними цієї таблиці побудуємо графік, де простежимо залежність гальмівного шляху активного гальмування різних типів суден від глибини моря (рис. 3).

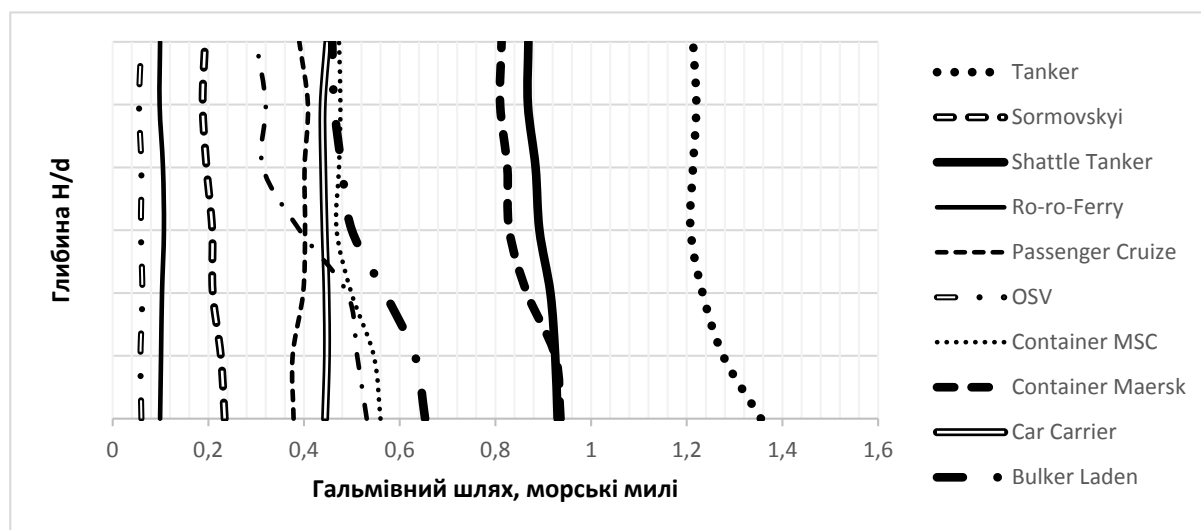


Рисунок 3 – Залежність гальмівного шляху активного гальмування різних типів суден від глибини моря

Також перерахуємо значення гальмівного шляху активного гальмування у відсотках від гальмівного шляху на глибокій воді і представимо результати у вигляді табл. 5

Таблиця 5 – Гальмівні шляхи активного гальмування суден, що задіяні в експерименті, у відсотках від гальмівних шляхів на глибокій воді

№	Назва судна	1,1d	1,25d	1,5d	2d	3d	4d	ГВ
1	Балкер у баласті	177	170	163	130	105	107	100
2	Балкер у вантажі	142	138	124	109	104	101	100
3	Автомобілевоз	99	100	100	99	98	98	100
4	Контейнеровоз MAERSK	115	114	107	102	101	100	100
5	Контейнеровоз MSC	118	115	106	99	100	92	100
6	Пасажи́рське судно	97	96	102	103	103	105	100
7	Судно-постачальник для шельфу	100	97	103	98	100	92	100
8	Пасажи́рський пором-ролкер	100	102	104	108	106	99	100
9	Танкер для роботи на шельфі	107	106	105	103	102	100	100
10	СОРМОВСЬКИЙ	121	117	108	108	102	97	100
11	Танкер	112	105	102	100	100	101	100

По даним цієї таблиці знов побудуємо графік, де простежимо залежність активних гальмівних шляхів різних типів суден від глибини моря, але вже у відсотках від гальмівних шляхів на глибокій воді (рис. 4).

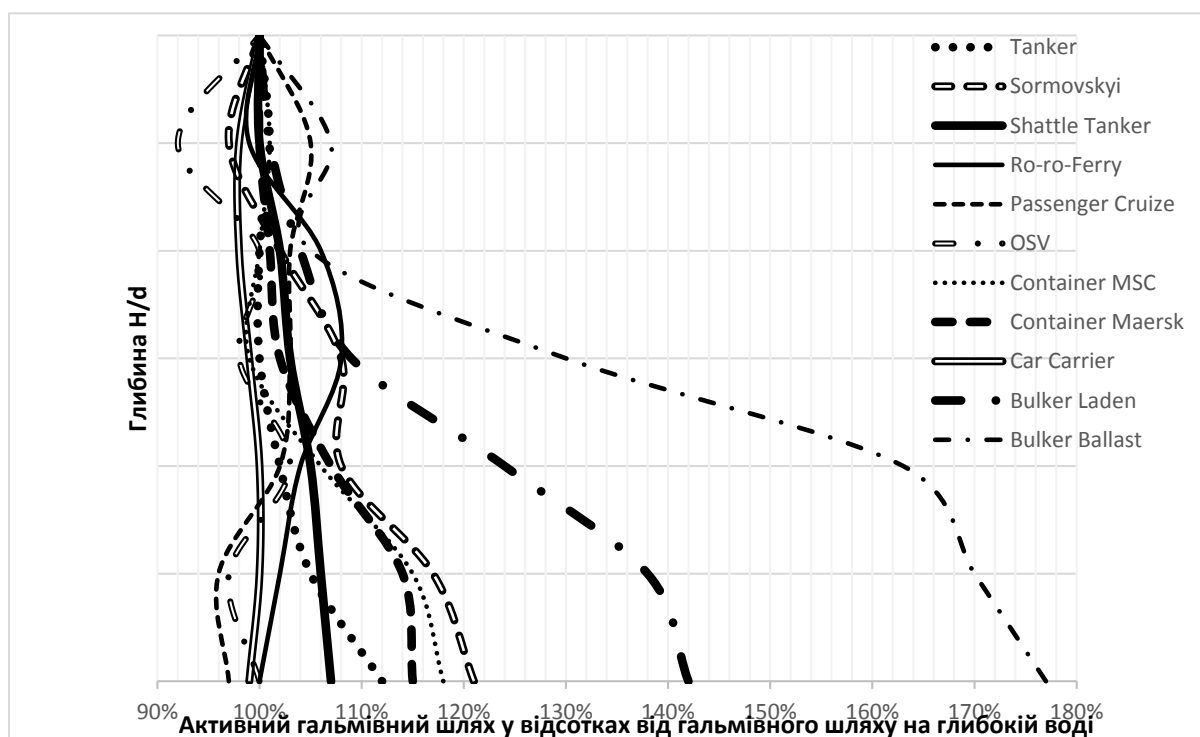


Рисунок 4 – Залежність активних гальмівних шляхів різних типів суден від глибини моря, у відсотках від гальмівних шляхів на глибокій воді

При активному гальмуванні майже в усіх джерелах вважається, що гальмівний шлях має збільшитися.

У нашому експерименті з 11 суден у 7 з них гальмівний шлях збільшився 7 до 77 %. У двох суден він залишився незмінним і у двох зменшився на 1–3 %. Тобто можна вважати, що на 7 суднах гальмівний шлях при активному гальмуванні змінювався таким чином, як передбачалося, а на решті 4 не змінювався або майже не змінювався.

Висновки

1. Таким чином, про гальмівний шлях активного гальмування при зменшенні глибини на більшості суден можна сказати, що він змінювався, як передбачалося.

2. Що ж стосується гальмівного шляху пасивного гальмування, то можна визначити, що для більшості суден при зменшенні глибини гальмівний шлях не зазнавав суттєвої тенденції до збільшення або зменшення, і або продовжував залишатися в межах початкового шляху на глибокій воді, або змінювався хаотично. Це не зовсім відповідає

теоретичним викладкам багатьох авторів.

Тому ми вважаємо, що для визначення законів зміни маневрених характеристик судна на мілководді експерименти слід продовжити.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Управление судном / Демин С. И., Жуков Е. И. и др. М. : Транспорт, 1991. 359 с.
2. Лихачев А. В. Управление судном : учебник для морских вузов. СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2004. 504 с.
3. Ship Dynamics Fore Mariner. I.C.Clark BSc MSc MNI. Published by the Nautical Institute 202 lamberth Rd, London SE1 7LQ. The Nautical Institute 2005.
4. MacElrevey, Daniel H. Shiphandling for mariners / by Daniel H. MacElrevey and Daniel E. MacElrevey. 4th ed. Cornell Maritime Press. Centerville, Mariland. – 2004. – 386 p.
5. Шарлай Г. Н. Управление морским судном : учебное пособие. Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2015. 566 с.
6. Справочник капитана дальнего плавания / Л. Р. Аксютин, В. М. Бондарь, Г. Г. Ермолаев и др.; под ред. Г. Г. Ермолаева. М. : Транспорт, 1988. 248 с.

REFERENCES

1. Demin S. I. Upravlenie sudnom / Demin S. I., Zhukov E. I. i dr. – M. : Transport, 1991. – 359 s.s
2. Likhachev A. V. Upravlenie sudnom. Uchebnik dlya morskikh vuzov. SPb.: Izd-vo politekh. un-ta, 2004. 504 s.
3. Ship Dynamics Fore Mariner. I.C.Clark BSc MSc MNI. Published by the Nautical Institute 202 lamberth Rd, London SE1 7LQ. The Nautical Institute 2005.
4. MacElrevey, Daniel H. Shiphandling for mariners / by Daniel H. MacElrevey and Daniel E. MacElrevey. 4th ed. Cornell Maritime Press. Centerville, Mariland. – 2004. – 386 p.
5. Sharlayj G. N. Upravlenie morskim sudnom : uchebnoe posobie / G. N. Sharlayj. – Vladivostok : Mor. gos. un-t, 2015. – 566 s.
6. Spravochnik kapitana daljnego plavannya / L. R. Aksyutin, V. M. Bondarj, G. G. Ermolaev i dr.; pod red. G. G. Ermolaeva – M. : Transport, 1988. – 248 s.

Товстокорый О. Н., Бурак А. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРМОЗНОГО ПУТИ НА МЕЛКОВОДЬЕ

В работе предложено определить зависимость тормозного пути судна на мелководье от уменьшения глубины под килем.

За счет уменьшения запаса воды под килем поведение судна изменяется, то есть изменяются его маневренные характеристики. Очень важное значение имеет возможность знать, каким образом это происходит.

В современных условиях эту проблему можно исследовать, используя современные электронные тренажеры-симуляторы.

К тому же, можно определить, как результаты экспериментов на тренажере соответствуют теоретическим выкладкам различных авторов относительно этого вопроса.

Ключевые слова: тормозной путь, мелководье, запас глубины под килем, тренажер-симулятор.

Tovstokoryi O. M., Burak O. O. DETERMINATION OF STOPPING DISTANCE ON SHELLOW WATER

In article addition of stopping distance of the vessel depending on under keel clearance is offered to determine. Due to decreasing of under keel clearance behavior of a vessel is changed, i.e., maneuvering characteristics are changed. It's very important to have possibility to know, how it's happened.

In present conditions this problem can be investigated using modern electronic training simulators.

Also it's possible to determine, how results of experiments are corresponding with theoretical issues of different authors regarding this problem.

Keywords: stopping distance, shallow water, under keel clearance, training simulator.

© Товстокорый О. М., Бурак О. О.

Статтю прийнято
до редакції 16.02.18

ОПТИМІЗАЦІЯ ВАНТАЖНОГО ПЛАНУ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ

Фєдоров А. І., аспірант кафедри судноводіння та електронних навігаційних систем Херсонської державної морської академії, e-mail: mr.fedorov.anton@mail.ru

У статті розглянуто питання оптимізації процесу складання вантажного плану контейнеровозу в умовах здійснення мультипортових перевезень. Проаналізовано навні дослідження та визначено, що процес складання вантажного плану контейнеровозу являє собою складну багатокритеріальну оптимізаційну задачу, для вирішення якої необхідно застосування методів математичного моделювання. Запропоновано математичну модель формування вантажного плану контейнеровозу, що враховує особливості обмежень, пов'язаних з послідовністю завантаження контейнерів, та дотримання вимог збереження остійності судна. В основу моделі покладено процес завантаження судна на основі логічних правил завантаження-вивантаження. Застосування запропонованої математичної моделі складання вантажного плану контейнеровозу дозволить підвищити ефективність здійснення мультипортових контейнерних перевезень завдяки зменшенню витрат часу на процеси завантаження/вивантаження в портах.

Ключові слова: контейнерні перевезення, вантажний план контейнеровозу, оптимізація вантажних операцій з контейнерами, процес завантаження судна, логічні правила завантаження контейнеровозу, мультипортові перевезення.

Вступ. На поточний момент часу у світі істотно зростають обсяги контейнерних перевезень вантажів, що обумовлено їх зручністю та порівняльно невеликою, з іншими видами транспорту, вартістю. Важливою перевагою контейнерних перевезень є відсутність перевантажень товару при зміні транспортного засобу. Завдяки цьому є можливість одночасного застосування різних видів транспорту під час перевезення вантажу (морський, автомобільний, залізничний тощо). Розвиненість морських шляхів для здійснення контейнерних перевезень забезпечує логістичну гнучкість контейнерних перевезень з будь якої країни світу. Також морські контейнерні перевезення характеризуються найнижчою собівартістю та високою надійністю порівняно з іншими видами транспорту [1–5].

Актуальність дослідження. Аналіз останніх публікацій показує, що важливою проблемою сьогодення є складання оптимальних вантажних планів судна, яке пов'язано з формуванням технологічно обумовлених ланцюжків завантаження-вивантаження контейнерів, особливо, якщо маршрут судна проходить через кілька портів, призводить до виникнення проблеми, тобто нераціональних вантажних операцій завантаження-вивантаження контейнерів на судно з метою вилучення лише потрібних заданому порту контейнерів.

Як наслідок, контейнери, розташовані зверху судна, повинні бути перенесені, щоб дозволити вивантаження контейнерів, розташованих під ними. За підсумками досліджень, наведених у роботі [6], плата за переміщення контейнерів може бути високою, вартістю близько 200 доларів за переміщення одного контейнера. Таким чином, метою планування оптимального розміщення контейнерних вантажів є мінімізація кількості непотрібних переміщень контейнерів. Важливо також зазначити, що слід дотримуватись інших критеріїв, таких як, остійність контейнеровозів та розміщення контейнерів відповідно до їх типу (стандартний, небезпечний та ін.) [5, 8, 11, 12].

Спеціальна конструкція контейнеровозу дозволяє розв'язувати процес складання його вантажних планів як окремий випадок проблеми різання та упаковки, зокрема як тривимірну (ортогональну) проблему пакування [7].

У роботі [4] запропоновано перевірку стабільності судна, виходячи з того, що кожен контейнер має певну вагу.

У роботі [5] доведено, що задача формування вантажного плану контейнеровозу є NP-повною, що потребує розробки евристичних методів її розв'язання. Також показано, що проблема 2D-планування завантаження контейнерних вантажів може бути сформульована як бінарна лінійна модель 0-1, оптимальне рішення якої можна знайти, припускаючи, що кількість контейнерів, що відправляються, разом з їх походженням і призначенням порту,

відомі заздалегідь. Однак ця двійкова модель обмежена невеликими прикладами, оскільки кількість бінарних змінних та обмежень збільшується з кількістю портів та контейнерних розмірів.

У роботі [6] запропоновано застосування для вирішення проблеми розташування контейнерів генетичного алгоритму з компактним кодуванням рішення, який складається з рядка з розділами, що дорівнюють кількості портів, де кожна секція складається з чотирьох векторів, пов'язаних з кількістю рухів вивантаження контейнерів, які необхідно виконати. Обмеження дотримання остійності судна розглядалися як штрафна функція, а запропонований підхід був випробуваний у випадках з 11 портами та контейнеровозом з потужністю 1000 TEU.

У роботі [7] запропоновано складання вантажного плану судна з урахуванням обмежень робочого навантаження крану та дотримання умов остійності судна для випадків, коли контейнеровоз мав потужність 5 000 TEU, 5 кранів, 5 різних типів контейнерів та заходження до 5 портів призначення.

У роботі [8] запропоновано методологію оптимізації формування вантажного плану контейнеровозу, виходячи з необхідності одночасного досягнення двох цілей – дотримання умов остійності судна та зменшення кількості контейнерів, що оброблюються повторно. Для вирішення вказаних завдань запропоновано застосування генетичних алгоритмів.

У роботі [9] сформульовано проблему завантаження контейнеровозу як тривимірну проблему упаковки контейнерів і представлено метод її евристичного розв'язання. Головною метою було звести до мінімуму загальний час завантаження, а також ефективно використовувати наземне обладнання.

У роботі [10] запропоновано методологію, яка вирішує планування формування вантажного плану контейнеровозу у два етапи. Перший етап використовує метод гілок та меж для вирішення задачі загального розміщення контейнерів по бейх. Другий етап полягає у застосуванні обмежень розташування з метою визначення кінцевої позиції кожного контейнера на судні.

Мета дослідження. Метою дослідження є розробка математичної моделі формування вантажного плану судна-контейнеровозу на основі логічних правил завантаження-вивантаження, що забезпечує поліпшення ефективності мультипортових контейнерних перевезень.

Основна частина. Порівняльний аналіз досліджень, проведених різними авторами, показує, що ефективним методом вирішення проблеми є підхід, заснований на формуванні оптимального плану завантаження контейнеровозу з використанням логічних правил завантаження. Зазначений підхід можна краще пояснити, якщо розглянути контейнеровоз у вигляді графу, як наведено на рис. 1.

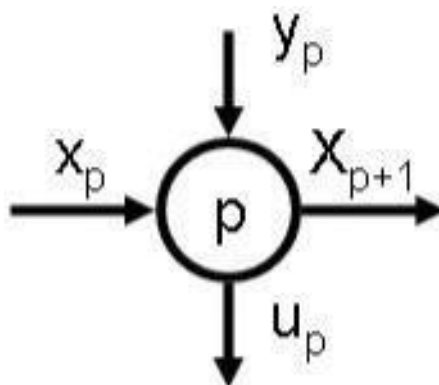


Рисунок 1 – Вузол і дуги графу процесу завантаження контейнеровозу

На рис 1. вузол p являє собою порт, в якому відбуваються процеси завантаження та вивантаження судна. Стан контейнеровозу змінюється, коли він заходить та виходить з порту p . Зазначені зміни відображаються у вигляді дуг x_p та x_{p+1} , відповідно. Стан x_p перетворюється на x_{p+1} відповідно до двох наступних рішень.

1. Якщо наявні контейнери вивантажуються в порту p . Це рішення може бути представлено як u_p . Воно може бути розглянуто як сукупність двох змінних:

- змінна q_p визначає контейнери, які повинні бути вивантажені, оскільки порт p є портом їх призначення, або якщо вони блокують собою інші контейнери, призначенням яких є порт p .

- змінна v_p визначає контейнери, які повинні бути вивантажені для кращого розташування контейнерів на судні, що забезпечить зменшення шифтінгу (переміщення контейнерів) при заходженні судна в наступні порти.

2. Як перезавантажити контейнери судна з порту $1, \dots, p-1$, місцем доставки яких є порти $p+1, \dots, p$, і як завантажувати контейнери з порту p , які будуть перевозитися в наступні порти. Таке рішення визначається змінною u_p .

Слід зазначити, що q_p та v_p можуть істотно змінюватись залежно від кількості контейнерів, що будуть перезавантажені на судно.

Інакше кажучи, це гарантує, що розташування в контейнеровозі при виході з кожного порту p (x_{p+1}) залежить від розташування контейнерів, коли судно прибуває до порту p (x_p), плюс кількість контейнерів, які завантажуються або вивантажуються у порту p .

Програмна реалізація процесу розміщення контейнерів на судні потребує визначення двох складових.

1. Оскільки розміщення контейнерів на судні може бути представлено тривимірною матрицею, при вирішенні оптимізаційної задачі розміщення контейнерів на судні необхідно здійснювати послідовний аналіз її стану для кожного із портів з метою зменшення шифтінгу (кількості контейнерів, що перезавантажуються).

2. Зміни у стані розміщення контейнерів на судні доцільно здійснювати на основі правил розвантаження та правил завантаження, представлених u_p і u_p відповідно, що може бути здійснено за допомогою процедур імітаційного моделювання.

Висновки. Застосування запропонованої оптимізаційної моделі для завантаження контейнеровозу з урахуванням процесу його заходження до кількох портів, дозволить скоротити час виконання вантажних операцій в портах шляхом зменшення кількості операцій звантаження-вивантаження контейнерів. Особливістю запропонованої моделі є застосування логічних правил завантаження контейнеровозу, що дозволяє дотримуватися обмежень, пов'язаних із дотриманням умов збереження остійності судна та особливостями розміщення контейнерів різного типу на судні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Федоров А. И. Оптимизация морских контейнерных перевозок. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті* : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції (24-26 травня 2016). Херсон : ХДМА, 2016. С.47–48.
2. Федоров А. И. Оптимізація вантажного плану контейнеровозу. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті* : матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції (23-25 травня 2017). Херсон : ХДМА, 2017. С.13–14.
3. Федоров А. И. Зменшення шифтінгу контейнерів при складанні вантажного плану судна. *Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика* : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон : ХДМА, 2016. С.183–184.
4. Ambrosino, D., Anghinolfi, D., Paolucci, M. and Sciomachen, A. (2010) 'An experimental comparison of different heuristics for the master bay plan problem', *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 6049, P. 314–325.
5. Avriel, M., Penn, M., Shpirer, N. and Wittenboon, S. (1998) 'Stowage planning for container ships to reduce the number of shifts', *Annals of Operations Research*, Vol. 76, No. 1. P. 55–71.

6. Dubrovsky, O., Levitin, G. and Penn, M. (2002) 'A genetic algorithm with a compact solution encoding for the containership stowage problem', *Journal of Heuristics*, Vol. 8, No. 6. P. 585–599.
7. Fan, L., Low, M.Y.H., Ying, H.S., Jing, H.W., Min, Z. and Aye, W.C. (2010) 'Stowage planning of large containership with tradeoff between crane workload balance and ship stability', *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computers Scientists*, Vol. III, P. 1–7.
8. Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2006) 'Multi-objective simultaneous stowage and loading planning or a container ship with container rehandle in yard stacks', *European Journal of Operational Research*, Vol. 171, No. 3, P. 373–389.
9. Sciomachen, A. and Tanfani, E. (2007) 'A 3D-BPP approach for optimizing stowage plans and terminal productivity', *European Journal of Operational Research*, Vol. 183, No. 3, P. 1433–1446.
10. Vacca, I., Bierlaire, M. and Salani, M. (2007) 'Optimization at container terminals: status, trends and perspectives', *7th Swiss Transportation Research Conference*, September. P. 1–21.
11. Wilson, I. and Roach, P.A. (1999) 'Principles of combinatorial optimization applied to container-ship stowage planning'. *Journal of Heuristics*. Vol. 5, No. 4. P. 403–418.
12. Wilson, I. and Roach, P.A. (2000) 'Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions', *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 51, No. 11. P. 1248–1255.

REFERENCES

1. Fedorov A. I. Optimizaciya morskikh konteyjernikh perevozok. // VIII Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya «Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti» (MINTT 2016.) (24-26 travnya 2016m. Kherson). – S.47-48
2. Fedorov A. I. Optimizaciya vatazhnogo planu konteyjnerovozu. // IX Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya «MINTT 2017. Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti» (23-25 travnya 2017, m. Kherson). – S. 13–14.
3. Fedorov A. I. Zmenshennya shiftingu konteyjneriv pri skladanni vantazhnogo planu sudna. // IV Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya «Bezpeka zhittediyalnosti na transporti i virobnictvi – osvita, nauka, praktika» – S.183–184.
4. Ambrosino, D., Anghinolfi, D., Paolucci, M. and Sciomachen, A. (2010) 'An experimental comparison of different heuristics for the master bay plan problem', *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6049, pp.314–325.
5. Avriel, M., Penn, M. and Shpirer, N. (2000) 'Containership stowage problem: complexity and connection to the coloring of circle graphs', *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 103, Nos. 1–3, pp.271–279.
6. Dubrovsky, O., Levitin, G. and Penn, M. (2002) 'A genetic algorithm with a compact solution encoding for the containership stowage problem', *Journal of Heuristics*, Vol. 8, No. 6, pp.585–599.
7. Fan, L., Low, M.Y.H., Ying, H.S., Jing, H.W., Min, Z. and Aye, W.C. (2010) 'Stowage planning of large containership with tradeoff between crane workload balance and ship stability', *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computers Scientists*, Vol. III, pp.1–7.
8. Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2006) 'Multi-objective simultaneous stowage and loading planning or a container ship with container rehandle in yard stacks', *European Journal of Operational Research*, Vol. 171, No. 3, pp.373–389.
9. Sciomachen, A. and Tanfani, E. (2007) 'A 3D-BPP approach for optimizing stowage plans and terminal productivity', *European Journal of Operational Research*, Vol. 183, No. 3, pp.1433–1446.

10. Vacca, I., Bierlaire, M. and Salani, M. (2007) 'Optimization at container terminals: status, trends and perspectives', 7th Swiss Transportation Research Conference, September, pp.1–21.
11. Wilson, I. and Roach, P.A. (1999) 'Principles of combinatorial optimization applied to container-ship stowage planning', Journal of Heuristics, Vol. 5, No. 4, pp.403–418.
12. Wilson, I. and Roach, P.A. (2000) 'Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions', Journal of the Operational Research Society, Vol. 51, No. 11, pp.1248–1255.

Федоров А. И. ОПТИМИЗАЦИЯ ГРУЗОВОГО ПЛАНА КОНТЕЙНЕРОВОЗА

В статье рассмотрены вопросы оптимизации процесса составления грузового плана контейнеровоза в условиях осуществления мультипортовых перевозок. Проанализированы существующие исследования и определено, что процесс составления грузового плана контейнеровоза представляет собой сложную многокритериальную оптимизационную задачу, для решения которой необходимо применение методов математического моделирования. Предложена математическая модель формирования грузового плана контейнеровоза, учитывающая особенности ограничений, связанных с последовательностью загрузки контейнеров и соблюдением требований сохранения остойчивости судна. В основу модели положен процесс загрузки судна на основе логических правил погрузки-выгрузки. Применение предлагаемой математической модели составления грузового плана контейнеровоза позволит повысить эффективность осуществления мультипортовых контейнерных перевозок за счет уменьшения затрат времени на процессы загрузки / выгрузки в портах.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, грузовой план контейнеровоза, оптимизация грузовых операций с контейнерами, процесс загрузки судна, логические правила загрузки контейнеровоза, мультипортовые перевозки.

Fedorov A. I. OPTIMIZING THE CARGO PLAN OF CONTAINER SHIP

The article considers the issues of optimization of the process of creating a cargo container plan in the conditions of multi-port transportation. The existing research is analyzed and it is determined that the process of creating the cargo plan of the container is a complex multicriteria optimization problem for the solution of which it is necessary to apply methods of mathematical modeling. The mathematical model of formation of a cargo container plan, taking into account the features of constraints related to the loading sequence of containers, and compliance with the requirements of maintaining the stability of the vessel, is proposed. The basis of the model is the process of loading the ship based on the logical rules of loading and unloading. The application of the proposed mathematical model for drafting a cargo container plan will increase the efficiency of multiport container transportation by reducing the time spent on loading / unloading processes in ports.

Keywords: container transportation, cargo plan, container transport, optimization of cargo operations with containers, ship loading process, logic rules for container ship loading, multiport transportation.

© Федоров А. И.

Статтю прийнято
до редакції 21.06.18

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОНТОНА ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ДОКА

Яглицький Ю. К., к.т.н., доцент кафедри будівництва та ремонту суден Національного університету імені адмірала Макарова, ORCID: 0000-0002-4865-0411;

Кириченко К. В., аспірант кафедри будівництва та ремонту суден Національного університету імені адмірала Макарова, ORCID: 0000-0002-0974-6904

У роботі проаналізовано використання методики функціонального моделювання в нотації IDEF0 на прикладі моделювання технологічного процесу виробництва залізобетонного понтона композитного плавучого дока. Наведено принципові технічні й технологічні вказівки для оптимізації виконання інтегрованого виробничого процесу побудови залізобетонного дока при його системній організації. Розкрито основні підходи до побудови повної функціональної моделі виробничого процесу. Показано, що графічні зображення виявляються найбільш ёмною формою представлення інформації, а знання структури об'єкта, що досліджується, дозволяє вирішувати різноманітні задачі структуризації ситуацій, які виникають на цьому об'єкті. Пропонується вирішення оптимізаційних завдань проєктування технологічних процесів побудови композитного дока здійснювати за допомогою функціональних SADT-моделей.

Ключові слова: композитна плавуча споруда, технологічний процес, док, функціональне моделювання, бетон, технологічність, декомпозиція діаграм, SADT-модель, нотація IDEF0.

Вступ. Аналізуючи світовий та вітчизняний досвід роботи підприємств, які задіяні в будівництві композитних плавучих споруд, можна зробити висновок, що основним напрямом для досягнення конкурентоспроможної продукції цих підприємств є розвиток наукових досліджень, які спрямовані на модернізацію, вдосконалення підготовки, організацію та управління виробництвом, скорочення тривалості будівництва, зниження собівартості та підвищення якості продукції, мінімізацію використання всіх видів ресурсів і витрат, використання нових технологій [1, 2, 3, 4].

Це висуває нові задачі та вимоги до систем управління й підготовки виробництва (конструкторської, технологічної, організаційної, матеріально-технічної та ін.) докобудівного підприємства.

В сучасних умовах якість технологічної підготовки виробництва при будівництві плавучого дока значною мірою визначається рівнем технологічних процесів (ТП), що використовуються. Системний підхід при проєктуванні ТП дуже ускладнений, тому що технолог не в змозі забезпечити одночасно оптимізацію ТП, високу якість виробленої продукції і економічність проєктних робіт. У той же час підвищення якості і складності окремих вузлів та систем плавучого дока вимагає оптимальних варіантів розробленої технології. Тому виникла необхідність у принципово новому підході до проєктування ТП. Таким підходом є автоматизоване (комп'ютерне) проєктування. Сучасні персональні комп'ютери (ПК) дозволяють вирішувати комплекс питань, пов'язаних з оптимізацією виробництва і технологічного проєктування, основу яких становить повна взаємодія людей, комп'ютерних програм і технічних засобів.

Розробка найкращого варіанту ТП є передумовою для вирішення технічних, економічних і організаційних задач в конкретних виробничих умовах [5]. При цьому обраний ТП повинен забезпечувати виконання усіх вимог до якості виробу, його виготовлення в заданій кількості і в заданий строк. На розв'язання цих задач і орієнтоване моделювання виробничих (технологічних) процесів.

Рішення задач. При системній організації інтегрованого виробничого процесу побудови плавучого дока необхідна розробка принципових вказівок для побудови плавучого дока, до яких входять:

Технологічний аналіз виробничих умов побудови плавучого дока. Перед початком виробництва приймається ряд технічних і організаційних рішень, які повинні враховувати встановлений клас споруди, а також інші характеристики виробничих умов будівництва дока (матеріали, з яких виготовляється док, тип та вантажопідйомність транспортних

засобів дока, розмір будівельного місця, основні характеристики корпусних цехів). Необхідно також відзначити вплив перерахованих вище виробничих умов на вибір методу й принципової технології побудови дока, схеми формування його корпусу при будівництві, розбивку корпусу дока на будівельні елементи.

Аналіз якості та вартості матеріалів. Вибір матеріалів для виготовлення корпусних залізобетонних і металевих конструкцій дока є важливим аспектом вирішення проблем будівельної механіки корабля – зниження маси конструкцій при збереженні достатньої міцності. У докобудуванні, в основному, використовуються вуглецеві і низьколеговані сталі. Вибір арматурної сталі і бетону для виготовлення залізобетонних секцій є важливим процесом. Бетон, що використовується для понтона композитних доків, відрізняється від будівельного бетону. Щоб забезпечити непроникність понтону при мінімальній товщині залізобетонних секцій застосовують сульфатостійкий портландцемент з домішками, які утворюють щільну форму бетону і в той же час підвищують схоплювання бетону і його морозостійкість. Застосування листового прокату для закладних деталей і металевих секцій башт з низьколегрованої сталі малої товщини недоцільно, тому що швидкість їх корозії не відрізняється від вуглецевої сталі. Для листів великої товщини і профільного прокату використання низьколегрованої корпусної сталі є найбільш прийнятним.

Оцінка технологічності форми корпусу, деталей та секцій. Понтон плавучого дока має повноту корпусу близьку до одиниці, що позитивно впливає на загальну технологічність, дозволяє збільшити частку механізованих робіт, знизити кількість відходів матеріалів, а також спростити виробництво деталей завдяки зменшенню обсягу розмічальних та згинальних робіт. Деталі й вузли корпусу дока мають просту форму, що знижує трудомісткість складання, більшість залізобетонних секцій понтону є плоскими з малою кількістю випусків, що дозволяє застосовувати для їх виготовлення просте оснащення (площинні стенди).

Крім зазначених принципових указівок, для побудови дока необхідна розробка технологічної концепції, до якої базовими елементами входять принципова технологія побудови корпусу плавучого дока та робоча технологія виготовлення залізобетонної секції.

Принципова технологія побудови корпусу плавучого дока включає: розбивку корпусу плавучого дока на секції, прийняття оптимальної технології й організації будівництва плавучого дока, врахування виробничих умов верфі, розробку технологічних указівок щодо застосування припусків, розробку принципових указівок з технології виготовлення деталей, вузлів і секцій корпусу дока.

Проектування робочої технології виготовлення залізобетонної секції виконується згідно з основним положенням з технології та організації побудови композитного плавучого дока та інструкції з виготовлення залізобетонних секцій композитних плавучих доків і враховує використання інноваційних напрямів розвитку докобудівного підприємства [5]. До робочої технології, як основні складові, входять:

- технологічні вказівки на складання арматурних секцій;
- технологічні вказівки на виготовлення арматурних каркасів ребер;
- технологічні вказівки на складання арматурних секцій з вузлом під металеву башту і металеві бімси;
- технологічні вказівки на підготовку секцій до бетонування;
- приготування бетонної суміші;
- ТП бетонування залізобетонних секцій;
- ТП бетонування залізобетонних секцій, що виготовляються спільно з закладною деталлю під металеву башту.

Сьогодні, в умовах ринкових відношень, першочерговими й принциповими завданнями у сфері виробництва є інтенсифікація діючих виробничих процесів, підвищення якості продукції, економія матеріалів і енергії та, в кінцевому підсумку, підвищення енергоефективності технологічних систем. Виявлення резервів виробництва або конкретного процесу, зазвичай, пов'язано з його аналізом на основі сучасних методів

досліджень і сучасних технічних засобів. Водночас, при вирішенні ряду завдань, які пов'язані з проектуванням, підготовкою й функціонуванням ТП вдаються до їх моделювання, тобто до вивчення окремих сторін, характеристик, властивостей ТП не на реальному об'єкті, а на його моделі [6].

Під моделлю ТП в загальному випадку розуміється формалізований опис ТП на визначеному рівні абстракції. Кожна модель визначає конкретний аспект процесу, використовує набір діаграм і документів заданого формату і є об'єктом діяльності різних спеціалістів (технологів) з конкретними завданнями. Процес моделювання є процесом переходу з реальної області у віртуальну (модельну) за допомогою формалізації, далі відбувається вивчення моделі (власне моделювання) і, нарешті, інтерпретація результатів як зворотний перехід з віртуальної області в реальну [7, 8]. Цей шлях замінює пряме дослідження ТП в реальній області, тобто лобове або інтуїтивне рішення задачі. Таким чином, в найпростішому випадку технологія моделювання складається з 3-х етапів: формалізації, власне моделювання та інтерпретації.

Вибір методу моделювання визначається функціональними властивостями ТП.

Враховуючи, що моделювання ТП можна віднести до вирішення функціональних задач, то для детального представлення роботи та організації операцій ТП можна скористатися методологією функціонального моделювання SADT ((Structured Analysis and Design Technique). Метод SADT реалізований в одному зі стандартів цього сімейства – IDEF0, який був затверджений у якості федерального стандарту США. Моделювання в SADT – інженерна дисципліна. Це означає, що моделі створюються виходячи з дійсної ситуації і ці моделі проходять через серію послідовних поліпшень доти, поки вони в точності не представлятимуть реальний об'єкт [9].

Метод SADT представляє сукупність правил і процедур, які призначені для побудови функціональної моделі об'єкта будь-якої предметної області. Функціональна модель SADT відображає функціональну структуру об'єкта, тобто дії, що ним виконуються і зв'язки між цими діями, і являє собою серію ієрархічних діаграм зі супроводжувальною документацією (рис. 1), які розбивають складний об'єкт на складові частини у вигляді блоків. Деталі кожного з основних блоків подаються у вигляді блоків на інших діаграмах. Кожна детальна діаграма є декомпозицією блоку з діаграми попереднього рівня. На кожному кроці декомпозиції діаграма попереднього рівня називається батьківською для більш детальної діаграми [10].

Графічні зображення досить часто виявляються найбільш ємною формою представлення інформації, а знання структури об'єкта, що досліджується, дозволяє вирішувати різноманітні задачі структуризації ситуацій, які виникають на цьому об'єкті.

Послідовність розробки SADT-моделі наступна:

- зібрати інформацію про об'єкт, визначити його границі;
- визначити цілі дослідження і погляди на модель;
- побудувати, узагальнити і декомпонувати діаграми.
- розповсюдити модель серед зацікавлених осіб;
- оцінити, рецензувати і коментувати;
- прийняти модель.

Враховуючи вищезазначене, для ефективного проектування ТП докового стапельного виробництва можна скористатися методологією SADT, попередньо розглянувши базовий ТП виробництва залізобетонного понтона композитного плавучого дока у вигляді ряду послідовних операцій: від підготовки стапеля до отримання технологічного функціонального понтона плавучого дока.

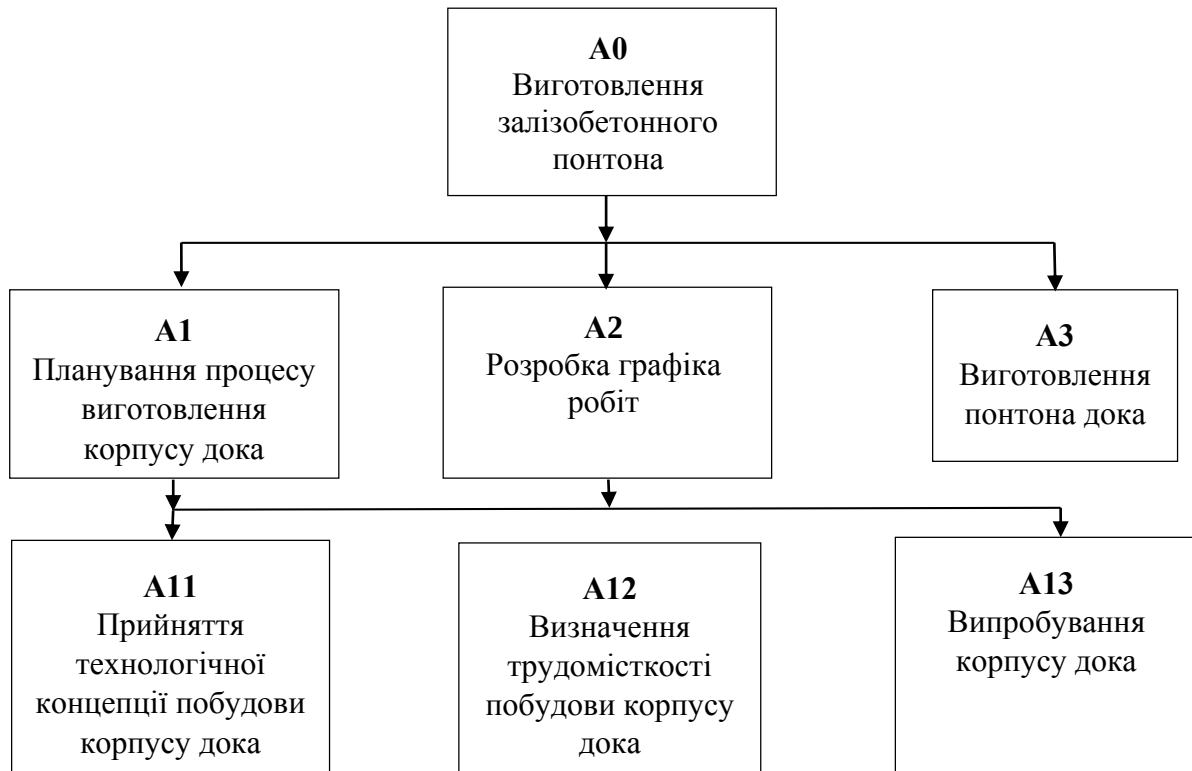


Рисунок 1 – Ієрархія діаграм

Операції базового ТП виготовлення залізобетонного понтону композитного плавучого дока складально-монолітним методом виконуються в наступній послідовності:

- 1) підготовка стапеля під закладання понтону (встановлення опорних «подушок» в горизонтальній площині, встановлення опалубки стиків днища);
- 2) укладання секцій днища, остаточне підганяння опалубки стиків;
- 3) армування, очищення арматури і кромek бетону в стиках, зварювання арматури в стиках, продування, промивання та бетонування стиків з ущільненням бетону;
- 4) догляд за бетоном, до якого входить тепловолога обробка в холодну пору року;
- 5) встановлення та розкріплення секцій вертикальних елементів понтону (перебірки, борти);
- 6) армування, очищення арматури і кромek бетону в стиках, зварювання арматури;
- 7) встановлення опалубки в стиках омонолічування, продування та промивання стиків;
- 8) бетонування (через спеціальні отвори в опалубці) з ущільненням бетону в стиках;
- 9) догляд за бетоном, до якого входить тепловолога обробка в холодну пору року;
- 10) демонтаж опалубки в стиках по днищу й секціях вертикальних елементів;
- 11) розчищення та усунення дефектів у стиках;
- 12) догляд за бетоном;
- 13) встановлення опорних конструкцій і опалубки стиків омонолічування стапель-палуби;
- 14) завершальне підганяння опалубки стиків;
- 15) армування, очищення арматури і кромek бетону в стиках, зварювання арматури в стиках, продування, промивання та бетонування стиків з ущільненням бетону;
- 16) демонтаж опорних конструкцій і опалубки;
- 17) розчищення та усунення дефектів у стиках;
- 18) догляд за бетоном;

Для різних докобудівних підприємств базовий ТП може відрізнятися і мати додаткові операції для підвищення ефективності роботи стапельного виробництва. У нашому випадку функціональна модель починається з верхньої (ТОР) діаграми (рис. 2), яка має тільки один прямокутник (блок), який символізує функцію, що виконується (виготовлення залізобетонного понтону) ТП в цілому. Усі зв'язки на даній діаграмі є

зовнішніми зв'язками ТП, що моделюється. TOP-діаграма надалі підлягає функціональній декомпозиції, тобто поділенню її єдиної функції на складові підфункції. На діаграмі, що декомпована (рис. 3), формуються внутрішні діаграмні зв'язки (у вигляді стрілок), початки й кінці яких прив'язані до тих чи інших блоків.

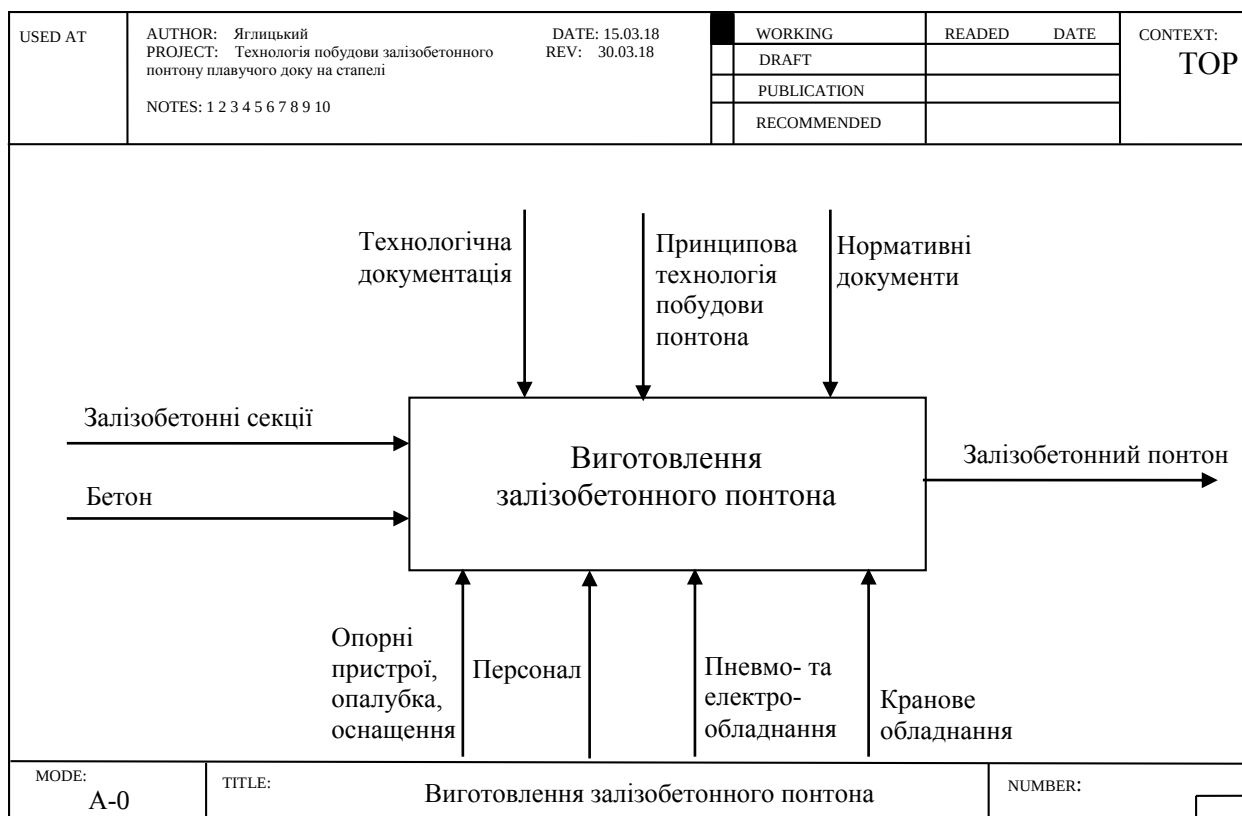
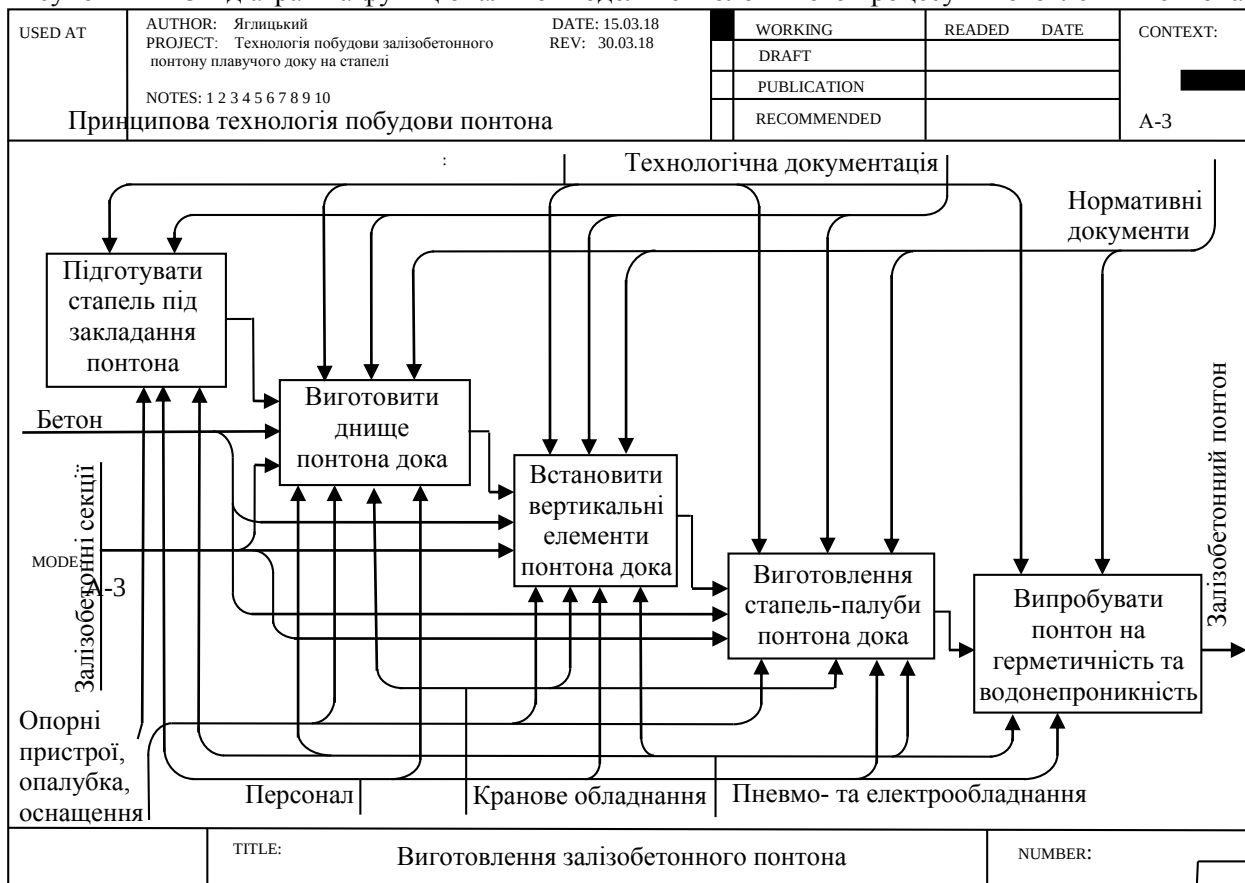


Рисунок 2 – TOP-діаграма функціональної моделі технологічного процесу виготовлення понтона



Якщо є необхідність, можна деталізувати всі 5 підфункцій ТП, що розглядається (рис. 3) і побудувати діаграми нижнього рівня. Розроблені діаграми показують процес виготовлення залізобетонного понтона композитного плавучого дока складально-монолітним методом у стані AS-IS («як є»).

Таким чином, функціональна модель, що представлена у графічному IDEF0-форматі, значно поліпшує можливість оцінювання сумісності й точності ТП, що моделюється, і необхідного поповнення його відсутніми елементами.

Висновки з перспективами. Результати побудови функціональних діаграм дозволяють оцінити:

- ступінь урахування всіх операцій, що входять до ТП виготовлення залізобетонного понтона плавучого дока;
- внутрішні зв'язки між функціями процесу;
- рівень управління та взаємодії розглянутих функцій ТП між собою;
- склад об'єктів ТП виготовлення залізобетонного понтона (нормативна документація, обладнання, пристосування і т. д.);
- ефективність виконання окремих операцій і процесу в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мишутин А. В. Железобетонные плавучие сооружения и перспективы их использования. *Вісник ОДАБА*. Одеса: «Астропрінт», 2002. №6. С. 181–187.
2. Слущкий Н. Г. Перспективы строительства композитных плавучих доков в Украине. *Умение и нововведения – 2007 : материалы за III междунар. науч.-практич. конф. Том 10. Технологии*. София : «БЯЛГРАД-БГ» ООД, 2007. С. 31–34.
3. Рашковский А. С. Строительство композитных плавучих сооружений в Украине. *Успехи современного естествознания*. 2007. № 10. С. 97–100.
4. Щедролов А. В., Кириченко К. В. Анализ состояния строительства плавучих доков. Баку: Азербайджанська Державна Морська Академія, 2018. Вип.1 С. 48–58.
5. Проектирование, технология и организация строительства композитных плавучих доков : монография / А. С. Рашковский и др.; под науч. ред. А. С. Рашковского. Николаев : НУК ; РАЛ-полиграфия, 2008. 614 с.
6. Нейман В. М. Функциональный подход к моделированию организационно-технологической подготовки производства в судостроении. *Рыбное хозяйство Украины. Специальный выпуск «Морские технологии: проблемы и решения – 2004»*. Керчь : КМТИ, 2004. № 7. С. 8–11.
7. Коберн А. Современные методы описания функциональных требований к системам. М. : ЛОРИ, 2002.
8. Вендров А. М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. М. : Финансы и статистика, 2006. 176 с.
9. Марка Д. А., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования. М. : МетаТехнология, 1993.
10. Черемных С. В. и др. Структурный анализ систем: IDEF – технологии. М. : Финансы и статистика, 2005.

REFERENCES

1. Mishutin A. V. (2002). Zhelezobetonnihe plavuchie sooruzheniya i perspektivih ikh ispoljzovaniya. *Visnik ODABA*. Odessa: Astroprint. № 6. S. 181–187.
2. Sluckiy N. G. (2007). Perspektivih stroiteljstva kompozitnikkh plavuchikh dokov v Ukraine. *Umenie i novovvedeniya – 2007 : materialih za III mezhdunar. nauch.-praktich. konf. Tom 10. Tekhnologii*. Sofiya : «BYaLGRAD-BG» OOD. S. 31–34.
3. Rashkovskiy A. S. (2007). Stroiteljstvo kompozitnikkh plavuchikh sooruzheniy v Ukraine. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. № 10. S. 97–100.

4. Thedrolosev A. V., Kirichenko K. V. Analiz sostoyaniya stroitelstva plavuchikh dokov. Baku: Azerbaydzhansjka Derzhavna Morsjka Akademiya, 2018. Vip.1. S. 48–58.
5. Proektirovanie, tekhnologiya i organizaciya stroitelstva kompozitnykh plavuchikh dokov : monografiya / A. S. Rashkovskiy i dr.; pod nauch. red. A. S. Rashkovskogo. Nikolaev : NUK ; RAL-poligrafiya, 2008. 614 s.
6. Neyjman V. M. (2004). Funkcionalniy podkhod k modelirovaniyu organizacionno-tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva v sudostroenii. *Ribnoe khozyaystvo Ukraini. Specialniy vihpusk «Morskie tekhnologii: problemi i resheniya – 2004»*. Kerchj : KMTI. № 7. S. 8–11.
7. Kobern A. (2002). *Sovremenniye metody opisaniya funktsionalnykh trebovaniy k sistemam*. M. : LORI.
8. Vendrov A. M. (2006). *CASE-tekhnologii. Sovremenniye metody i sredstva proektirovaniya informatsionnykh sistem*. M. : Finansih i statistika.
9. Marka D. A., MakGouehn K. (1993). Metodologiya strukturnogo analiza i proektirovaniya. M. : MetaTekhnologiya.
10. Cheremnykh S. V. i dr. (2005). *Strukturniy analiz sistem: IDEF – tekhnologii*. M. : Finansih i statistika.

Яглицкий Ю. К., Кириченко К. В. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОНТОНА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ДОКА

В работе проанализировано использование методики функционального моделирования в нотации IDEF0 на примере моделирования технологического процесса производства железобетонного понтона композитного плавучего дока. Приведены принципиальные технические и технологические указания для оптимизации выполнения интегрированного производственного процесса строительства железобетонного дока при его системной организации. Раскрыты основные подходы к построению полной функциональной модели производственного процесса. Показано, что графические изображения являются наиболее емкой формой представления информации, а знание структуры исследуемого объекта позволяет решать разнообразные задачи структуризации ситуаций, которые возникают на этом объекте. Предлагается решение оптимизационных задач проектирования технологических процессов строительства композитного дока осуществлять с помощью функциональных SADT-моделей.

Ключевые слова: композитное плавучее сооружение, технологический процесс, док, функциональное моделирование, бетон, технологичность, декомпозиция диаграмм, SADT-модель, нотация IDEF0.

Yaglitsky Yu. K., Kirichenko K. V. FUNCTIONAL MODELING OF THE PROCESS OF MAKING A PONTOON OF REINFORCED CONCRETE DOCK

The paper analyzes the use of functional modeling techniques in IDEF0 notation by the example of modeling the technological process for the production of reinforced concrete pontoon composite floating dock. Fundamental technical and technological guidelines are given to optimize the implementation of the integrated production process for the construction of a reinforced concrete dock with its systematic organization. The main approaches to the construction of a complete functional model of the production process are disclosed. It is shown that graphic images are the most capacious form of information presentation, and knowledge of the structure of the studied object allows us to solve various problems of structuring the situations that arise on this object. A solution to the optimization problems of designing technological processes for building a composite dock is proposed using functional SADT models.

Keywords: composite floating structure, technological process, dock, functional modeling, concrete, manufacturability, diagram decomposition, SADT-model, IDEF0 notation.

© Яглицкий Ю. К., Кириченко К. В.

Статтю прийнято
до редакції 27.04.18

ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

УПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС

Зайцева Т. В., к.пед.н., доцентка кафедри інформаційних технологій, комп'ютерних систем та мереж Херсонської державної морської академії, ORCID: 0000-0001-6780-719X;

Кравцова Л. В., к.т.н., доцент, завідувачка кафедри інформаційних технологій, комп'ютерних систем та мереж Херсонської державної морської академії, ORCID: 0000-0002-0152-635X;

Камінська Н. Г., викладачка кафедри інформаційних технологій, комп'ютерних систем та мереж Херсонської державної морської академії, ORCID: 0000-0002-9975-7403

Сучасне ставлення до компетентності претендента на обіймання будь-якої посади формує нові підвищені вимоги до рівня підготовки фахівців відповідного профілю. Використання інформаційних (інноваційних) комп'ютерних технологій у професійній діяльності є невід'ємною складовою загальних компетенцій фахівця. Тому ставлення до проблеми підвищення інформаційної культури студентів, упровадження у підготовку фахівців морських спеціальностей інформаційних технологій, їх підготовка до вирішення складних проблем за допомогою комп'ютерної техніки у Херсонській державній морській академії (ХДМА) є дуже серйозним. Нині зростає потреба морського транспорту у фахівцях, здатних розробляти, експлуатувати й обслуговувати сучасні інформаційні системи управління транспортними технологічними процесами. Це викликає необхідність створення нових умов навчання, нових форм представлення навчального матеріалу, методики роботи з новими засобами навчання та управління самостійною пізнавальною діяльністю.

Особливо актуальним є питання впровадження системи дистанційного навчання в спеціалізованих навчальних закладах, таких, наприклад, як Херсонська державна морська академія. Відповідно до навчального плану, курсанти щорічно проходять плавальну практику, яка триває від чотирьох до шести місяців, тобто курсант на цей період відірваний від безпосередньо аудиторного навчального процесу. Активне використання системи дистанційного навчання дозволяє йому не переривати теоретико-практичну складову навчання, підтримувати спілкування з однокурсниками, викладачами, отримувати необхідні консультації.

Самостійна робота курсанта за підтримки такого інформаційного середовища, як сайт дистанційного навчання, завжди позитивно впливає на його рівень підготовки. Тому основне завдання проєкту – надати курсантові якісний інформаційний ресурс, забезпечити його зручним сервісом, повноцінним контентом та можливістю спілкування у режимі діалогу як з викладачами, так і з курсантами академії.

Ключові слова: інтерактивні форми навчання, система дистанційного навчання, компетентнісний підхід, інноваційні технології.

Постановка проблеми та її актуальність. Сьогодення все наполегливіше вимагає пошуку таких форм та методів навчання, впровадження яких сприяло б активізації навчально-пізнавальної діяльності тих, хто навчається, підвищувало б ефективність набуття ними нових знань, розвивало б творчу активність, навички колективно злагоджених дій. Питання впровадження інноваційних технологій в освітньо-виховний процес з метою формування позитивної мотивації навчання є актуальним, так як необхідно формувати, з одного боку, нові підходи до викладання знань, а з другого, нові підходи пізнання, набуття компетенцій з обраної спеціальності.

Наявний досвід упровадження сучасних форм та методів в освітній процес дозволяє зробити висновок, що для їх ефективного практичного використання необхідне виконання низки важливих вимог, а саме наявність середовища, що має задовольняти вимоги користувачів, відповідати тим завданням, які на нього покладені; а також підготовленості персоналу щодо роботи у цьому середовищі та навчання курсантів роботі у середовищі за індивідуальним графіком.

Об'єкт даного дослідження – сайт дистанційного навчання ХДМА, розроблений на платформі MOODLE. Особливістю цієї платформи є її відкритість, можливість

упровадження будь-яких форм навчання та контролю знань, наявність постійного інформаційного обміну всіх учасників освітнього процесу.

Предметом дослідження є новітні концептуальні підходи до використання можливостей сучасного інформаційного середовища, з урахуванням особливостей освітнього процесу підготовки фахівців у Херсонській державній морській академії.

Метою роботи є розробка методики використання сучасного інформаційного середовища для підвищення якості підготовки курсантів ХДМА та впровадження цієї методики в освітній процес.

Для досягнення мети були виконані такі наукові та практичні завдання:

1. Комплексне дослідження можливості сучасних платформ дистанційного навчання у напрямку їх використання в навчальному процесі підготовки фахівців морського профілю.

2. Дослідження особливості використання системи дистанційного навчання в ХДМА.

3. Розроблення методики використання сучасного інформаційного середовища, побудованого на платформі MOODLE, для впровадження інтерактивних форм навчання для підготовки курсантів з дисциплін кафедри інформаційних технологій, комп'ютерних систем та мереж (ІТКСМ).

4. Розроблення структури власної сторінки кафедри ІТКСМ на сайті дистанційного навчання, яка відповідає вимогам підвищення якості підготовки курсантів та студентів ХДМА з дисциплін кафедри ІТКСМ.

5. Наповнення створеної структури контентом та надання викладачам академії і курсантам можливості зручного користування сучасним інформаційним середовищем.

6. Запровадження інтерактивних форм навчання при проведенні лабораторних та практичних занять з дисциплін кафедри ІТКСМ.

7. Забезпечення доступності та наочності результатів поточного або підсумкового контролю знань з дисциплін кафедри в середовищі MOODLE, аналіз отриманих результатів в аспекті підвищення якості підготовки фахівців морської галузі.

У прикладному плані дана робота спрямована на створення методики використання сучасного програмного продукту, застосування якого дозволить вирішити важливе науково-практичне завдання: застосування сучасних інноваційних та інформаційних технологій в освіті для підвищення якості підготовки фахівців морської галузі завдяки впровадженню системи дистанційного навчання в ХДМА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми. Проблема та умовам організації та впровадження дистанційної форми навчання були присвячені наукові роботи деяких вітчизняних та закордонних дослідників: Беккера Х., Бикова В. Ю. [1], Кухаренко В. М. [2], Морзе Н. В., Олійника В. В., Полат Є. С., Триуса Ю. В. [3] та ін.

Зробивши аналіз публікацій Кравцова Г. М. [4, 5], Кухаренко В. М., Рибалко О. В. [6, 7], можна зазначити, що використання можливостей ІКТ в освітньому процесі потребує організаційної, дослідницької та методичної роботи з упровадження сучасних стратегій, форм та методів дистанційного навчання.

Характеристиці інтерактивних технологій навчання та опису педагогічного досвіду використання інтерактивних методів навчання у вищій школі присвячені роботи Пометун О. І. [8], Січкарук О. І. [9].

Аналіз праць вищезазначених авторів свідчить, що проблема розвитку предметних та професійно спрямованих компетенцій майбутніх працівників саме морської галузі залишається недостатньо вивченою. А аналіз ефективності та обґрунтування методичної системи використання дистанційної системи навчання при підготовці курсантів на сьогодні потребує подальшого дослідження.

Застосування інтерактивних мультимедійних засобів навчання на сьогодні є фактично стандартним елементом у системі освіти будь-якого навчального закладу. Але

досвід використання таких засобів навчання для підготовки майбутніх моряків є практично відсутнім. Аналіз публікацій проблеми, що досліджується, спонукав до висновків про необхідність розробки власної методики використання сучасної платформи дистанційного навчання з урахуванням специфіки підготовки фахівців морського профілю. Можливість інтерактивного спілкування з викладачем, та й взагалі підвищення освітнього рівня дистанційно для моряка, що перебуває поза межами навчального закладу упродовж багатьох місяців, є дуже важливою, та може бути реалізована саме за допомогою програм дистанційного навчання.

Виклад основного матеріалу. На початку створення системи дистанційного навчання у ХДМА в якості платформи для реалізації проекту було обрано платформу дистанційного навчання MOODLE. Цього навчального року був здійснений перехід з версії 2.9 на версію 3.3, тому всі навчальні матеріали були перенесені на нову версію, яка має значно більше можливостей, як з боку викладачів, тобто впровадження нових форм навчання, так і з боку курсантів та студентів, що є користувачами СДН. Кафедрою розроблено програму поетапного поширення інтерактивних форм навчання, що передбачає максимальне використання можливостей нової версії.

Інтерактивне навчання – це навчання, яке відбувається за умови постійної, активної взаємодії всіх учасників навчального процесу. Це співнавчання, взаємонавчання (колективне, групове, навчання у співпраці), де обидві сторони (той хто навчає та той хто навчається) є рівноправними суб'єктами навчального процесу, розуміють, що вони роблять, знають, вміють здійснювати. Безпосередньо, сама організація інтерактивного навчання передбачає моделювання різноманітних життєвих ситуацій, спільне вирішення проблем на основі аналізу обставин та відповідної ситуації, використання рольових ігор. Усі інтерактивні технології поділяються на чотири групи: фронтальні технології, технології колективно-групового навчання, ситуативного навчання та навчання у дискусії [10]. Всі ці технології, по-перше, є життєво значущими для курсантів, що навчаються в академії, а по-друге, можуть бути реалізовані на СДН ХДМА.

У результаті застосування інтерактивних технологій створюються сприятливі умови для ефективного пізнавального процесу, тобто інтерактивне навчання дозволяє різко збільшити процес засвоєння матеріалу, оскільки впливає не лише на свідомість студента, а й на його почуття, дії, практику.

В багатьох літературних джерелах наводяться результати педагогічних досліджень, які можна відобразити в наступній ієрархії:

1. Лекція – 5 % засвоєння матеріалу;
2. Читання – 10 % засвоєння матеріалу;
3. Відео-, аудіоматеріали – 20 % засвоєння матеріалу;
4. Демонстрація – 30 % засвоєння матеріалу;
5. Дискусійні групи – 50 % засвоєння матеріалу;
6. Практика через дію – 75 % засвоєння матеріалу [9].

Використання інтерактивних технологій навчання, на відміну від інших систем навчання, дозволяє значно збільшити відсоток засвоєння інформації (до 90 %); така форма навчання орієнтована, на відміну від традиційного, не тільки на засвоєння знань, але й на розуміння, застосування, аналіз, синтез, оцінювання. Головним джерелом мотивації є професійний інтерес студента, в результаті чого навчальній діяльності притаманний високий рівень активності.

Інтерактивне навчання дозволяє реалізувати індивідуальний підхід до навчання кожного курсанта, з урахуванням його рівня підготовки, особистих якостей, таких, як швидкість сприйняття інформації, її осмислення, вміння використовувати цю інформацію у рішенні своїх професійних задач. Поняття адаптивного навчання, персоналізації навчання, індивідуальної траєкторії навчання останнім часом широко обговорюються у сферах дистанційного, змішаного та електронного навчання. Тому впровадження сучасних технологій в освітній процес дозволяє будувати індивідуальну траєкторію навчання

кожному курсанту. Звісно, необхідною умовою адаптивного навчання є бажання того, хто навчається, отримати ці знання, прикласти максимум зусиль для досягнення своєї мети – отримання комплексу знань, що необхідний у професійній діяльності.

Використання дистанційних платформ навчання дає можливість широкого використання в процесі навчання курсантів інтерактивних методів навчання. Інтерактивні методи навчання найбільш відповідають особистісно-орієнтованому підходу, так як вони припускають колективне, навчання у співпраці.

Викладачу тепер недостатньо бути просто компетентним у сфері своєї дисципліни, даючи теоретичні знання в аудиторії. необхідно дещо інакше підходити до сучасного освітнього процесу. Педагог частіше виступає лише в ролі організатора процесу навчання, лідера групи, створюючи умови для ініціативи курсантів. Інтерактивне навчання засноване на власному досвіді молоді, на їх прямій взаємодії у сфері набуття професійного досвіду. Всі учасники освітнього процесу взаємодіють один з одним, обмінюються інформацією, спільно вирішують проблеми, моделюють ситуації, оцінюють дії інших і свою власну поведінку, занурюються в реальну атмосферу ділової співпраці з вирішення проблеми.

Для забезпечення інтерактивності пізнавального процесу слід створити комфортні умови навчання, при яких курсант буде відчувати свою успішність, свою інтелектуальну спроможність розв'язати проблему тим або іншим способом, все це і буде забезпечувати підвищення продуктивності самого процесу навчання. Тому б було помилкою не використовувати інтерактивні інструменти, які надає система управління контентом Moodle.

Навчальний процес із використанням інтерактивних об'єктів дистанційної платформи дає можливість організувати навчальний процес таким чином, що практично всі учасники залучені в процес пізнання, вони можуть розуміти і рефлексувати з приводу того, що вони знають і думають. Особливість інтерактивних методів - це високий рівень взаємно спрямованої активності суб'єктів, взаємодії, емоційного, духовного єднання учасників [11].

Використання мережевих технологій сприяє не тільки засвоєнню курсантами (студентами) знань, умінь, навичок, форм професійної поведінки, а й формуванню певної структури особистісних якостей. Дослідження умов формування професійної компетентності майбутніх фахівців засобами мережевих технологій дозволило установити, що впровадження навчально-методичного комплексу, який містить дистанційні курси, розроблені засобами MOODLE з використанням модульного підходу, представлення знань як динамічної, мультимодальної структури, у формуванні якої беруть участь студенти, сприяє набуттю студентами досвіду самостійного поповнення та оновлення професійних знань, особистісної причетності до цього процесу та відповідальності за нього. Модульне навчання базується на позиціях діяльнісного, гнучкого підходу до визначення послідовності засвоєння навчального матеріалу, а сам модуль визначається як цілісна конструкція, що поєднує навчальний зміст і технологію оволодіння ним. Важливим критерієм побудови модуля є структурування діяльності студента в логіку етапів засвоєння знань: сприйняття, розуміння, осмислення, запам'ятовування, застосування, узагальнення, систематизація отриманих знань.

Таким чином, використання дистанційних форм і методів навчання сприяє індивідуалізації процесу професійного становлення, спонукає здобувачів вищої освіти до самостійної роботи, формує в них інформаційну культуру, налаштовує на оволодіння інноваційними засобами здобуття та застосування інформації, зокрема можливості дистанційного навчання сприяють формуванню професійної компетентності майбутніх фахівців морської галузі.

На сьогодні в Херсонській державній морській академії триває експеримент із запровадження компетентнісного підходу в навчальний процес.

Метою освіти стає не стільки оволодіння сумою знань як загального характеру, так і у сфері певних видів предметної діяльності, скільки формування знань, умінь і навичок,

що забезпечують здатність шукати і знаходити необхідні знання та використовувати їх для вирішення завдань, пов'язаних з виконанням соціальних і професійних функцій.

Система дистанційного навчання Херсонської державної морської академії (СДН ХДМА) створена колективом кафедри інформаційних технологій, комп'ютерних систем і мереж у 2015–2016 навчальному році та впроваджена в навчальний процес у 2016–2017 навчальному році, на базі широко відомої в освітніх колах платформи MOODLE, версія 2.9, та здійснено перехід на нову версію MOODLE 3.3. Основною навчальною одиницею MOODLE є навчальний курс. MOODLE підтримує стандарт SCORM, що дозволяє створювати електронні курси та зберігати їх у форматі SCORM у спеціальних програмах.

Структура СДН ХДМА відповідає науково-методичним та навчальним потребам саме цього навчального закладу. Сайт не тільки забезпечує курсанта необхідними методичними матеріалами та можливістю працювати з ними в зручний для нього час, отримувати консультації викладача, вчасно виконувати практичні та лабораторні завдання та відправляти їх на перевірку, а й здійснює контроль рівня підготовки як з боку курсанта (самооцінка знань), так і з боку викладача (поточна оцінка знань).

Особливістю розробленої системи є те, що ефективність стратегії навчання забезпечується врахуванням психологічних особливостей контингенту користувачів, кінцевої мети навчання, мотивації всього процесу отримання освіти, а саме, специфіки професії моряка. Широкі можливості для комунікації – одна з найсильніших сторін системи дистанційного навчання. Система підтримує обмін файлами будь-яких форматів – як між викладачем і курсантом, так і між самими курсантами. Сервіс розсилки дозволяє оперативно інформувати всіх учасників курсу або окремі групи про поточні події.

У Національній системі стандартів вищої освіти чітко прописані вимоги до кваліфікацій та надається перелік соціально та професійно важливих знань, умінь, навичок та компетенцій, які вимагає від випускника вищого закладу не тільки національний ринок праці, а і європейське співтовариство. Основою запровадження компетентнісного підходу у вищій освіті має бути Національна система кваліфікацій, зокрема її складові – Національна і галузеві рамки кваліфікацій. Відповідність якості підготовки випускника вищої школи вимогам галузевого стандарту вищої освіти має визначатись соціально-особистісними (КСО), загальнонауковими (КЗН), інструментальними (КИ) та професійними компетенціями. Впровадження компетентнісно-комунікативного підходу в навчальний процес вимагає не стільки нового предметного змісту, скільки інших педагогічних технологій [12]. Саме такі нові технології навчання і має середовище дистанційного навчання, що дозволяє

- погоджувати мету навчання, яку ставить педагог, з власними цілями курсантів (студентів);
- розвантажити курсантів (студентів) не через механічне скорочення змісту, а завдяки підвищенню сегмента індивідуальної самоосвіти;
- підготувати курсантів (студентів) до свідомого і відповідального навчання, до необхідності постійної самоосвіти;
- надати можливість виконати всі поставлені завдання, а саме, створити сучасне та зручне середовище для реалізації всіх поставлених задач.

Упровадження в процес навчання дистанційної форми освіти безпосередньо пов'язане з глобальним проектом академії «Теоретико-методичні основи реалізації компетентнісного підходу в системі підготовки фахівців морської галузі». На даний момент система дистанційного навчання активно використовується провідними викладачами академії, які працюють з курсантами та студентами в інтерактивному режимі, зокрема і викладачами кафедри ІТКСМ, які протягом навчального року апробували інтерактивну форму навчання на основі віртуального навчального середовища MOODLE. На даному етапі відбувається впровадження інтерактивної форми навчання з усіх дисциплін кафедри, що суттєво осучаснює процес навчання курсантів.

З метою впровадження компетентнісного підходу до навчання викладачі кафедри розробили, зареєстрували у відділі реєстрації та виклали на сайті дистанційного навчання ХДМА матеріали навчально-методичного комплексу з усіх дисциплін, що викладаються на кафедрі. Причому, весь навчально-методичний комплекс дисциплін кафедри переглянутий через призму компетентнісного навчання, тобто як робочі програми з дисциплін, так і всі матеріали враховують специфіку підготовки курсантів та погоджені з провідними фахівцями випускових кафедр. Принципи компетентнісного підходу до навчання, а саме, розробка курсів з урахуванням використання результатів навчання на старших курсах та взагалі у майбутній професійній діяльності, покладені в основу робочих програм дисциплін. Але головною перевагою нових програм стало те, що кожен курс детально розписаний відповідно до критеріїв оцінювання знань.

Компетентнісний підхід фіксує та встановлює підпорядкованість знань умінням. Важливу роль у цьому займає процес формування предметних компетентностей, особливо тих, що можна перенести на вивчення інших предметів для створення цілісного компетентнісно-орієнтованого інформаційного простору знань курсантів.

Результати досліджень представлені на Всеукраїнських та Міжнародних конференціях та публікуються у провідних журналах, а також на дистанційному сайті ХДМА за адресою <http://www.mdl.kma.ks.ua/>.

Як уже було зазначено, система інтерактивного навчання набирає обертів. Сучасна освіта потребує сучасних форм навчання, які безпосередньо пов'язані із використанням середовища дистанційного навчання. Тому головним завданням кафедри ІТКСМ на 2017–2018 навчальний рік було впровадження інтерактивної форми навчання у навчальний процес. Для кафедри ІТКСМ це є тим більше реальним, оскільки за специфікою кафедри всі аудиторні заняття проводяться у комп'ютерних аудиторіях, оснащених мережею Internet. З кожної дисципліни було розроблено бальну систему оцінювання роботи курсанта. Відповідно до цього, оновлені всі теоретичні матеріали з дисциплін. Кожна лабораторна робота містить 20 варіантів завдань, що відповідають критеріям компетентнісного підходу до викладання дисципліни. Всі лабораторні роботи охоплюють програму курсу. Кількість лабораторних робіт відповідає навчальному плану.

На першому та другому заняттях з кожної дисципліни кафедри з курсантами було проведено інформативну роботу щодо реєстрації на сайті дистанційного навчання та можливостей використання ними викладених навчальних матеріалів у навчанні. Також повідомлено про те, як формується оцінка курсанта за виконану роботу, за атестаційний модуль, підсумкова оцінка за семестр. На цих заняттях курсанти були ознайомлені з електронною бібліотекою ХДМА, яка створена згідно з проєктом кафедри ІТКСМ «Офіційний сайт ХДМА».

Отже, кожен курсант має доступ до всіх матеріалів дисциплін, результати виконання завдань він пересилає викладачу безпосередньо після закінчення заняття в аудиторії або зі свого домашнього комп'ютера та отримує оцінку за виконане завдання з урахуванням часу відправлення роботи, таким чином складається накопичувальний бал. Об'єктивність оцінювання роботи курсанта забезпечується тим, що кожен курсант отримує на сайті дистанційного навчання власний варіант за його номером у списку академічного журналу.

Основною перевагою нового підходу до викладання дисциплін, а саме інтерактивної форми навчання, є те що тут використовується адаптивна (індивідуалізована) форма роботи, вибір курсантом індивідуальної траєкторії навчання. Відомо, що курсант – це людина, що має деякий набір якостей, власних здібностей до навчання, засвоєння інформації, отримання навичок її використання у практичній діяльності. Використання інтерактивної форми навчання при проведенні занять дозволяє враховувати індивідуальні особливості кожного курсанта, надати йому можливість працювати у зручному режимі. Крім того, розширюються можливості курсантів щодо обговорення між собою у режимі

чату методів виконання лабораторних робіт, що сприяє кращому засвоєнню матеріалу (рис. 1).

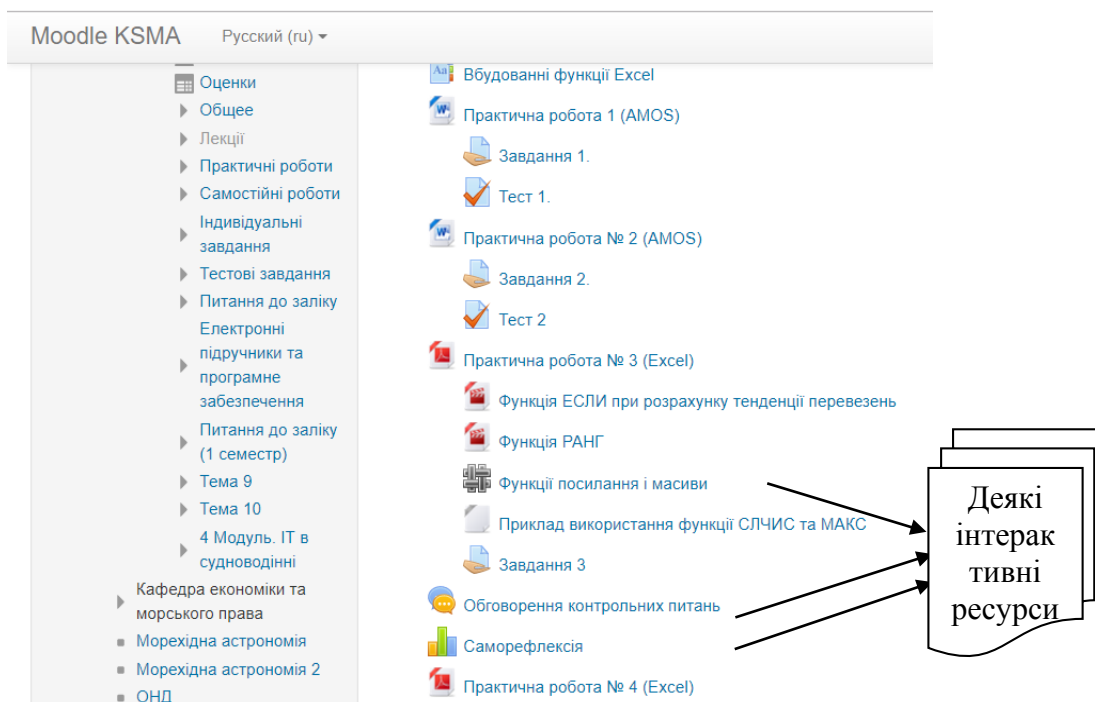


Рисунок 1 – Дистанційна платформа навчання ХДМА

З метою впровадження в освітній процес інноваційних форм проведення занять, викладачами кафедр було проведено значну роботу з розробки нових робочих програм курсів, в яких дисципліни розглядаються як засіб оволодіння компетенціями, як предметними, так і загальнонауковими або соціально-особистісними.

Невід’ємною частиною перебудови поглядів на результати вищої освіти є систематичне впровадження в процес навчання тестового контролю, який повинен бути різноманітним по формі проведення, за ступенем значущості, мати завдання прикладного практичного характеру та відрізнятися за об’ємом міждисциплінарних завдань.

З кожної дисципліни на сайті дистанційного навчання був сформований банк тестових питань, що покривають весь навчальний матеріал дисципліни. З цього банку питань викладач може формувати кілька тестів для тематичної або модульної перевірки рівня засвоєння навчального матеріалу. Кількість тестових завдань, кількість спроб проходження тесту, час проходження регулюються викладачем, автором матеріалів з дисципліни. Для кожного курсанта випадковим чином може бути сформований набір тестових завдань заданої кількості та випадкова послідовність варіантів відповідей, що унеможливить допомогу одних курсантів іншим.

Наявність загального банку питань дала змогу швидко та якісно підготувати як поточне (модульне) тестування, так і комплексне підсумкове тестування, яке повністю замінило екзаменаційні іспити під час сесій. Зазначимо, що комплексне тестування – це така комплектація тесту, яка передбачає перевірку компетенцій одночасно з декількох дисциплін, тобто виявляє саме комплексну підготовку майбутнього моряка, його здатність орієнтуватися у всіх тонкощах обраної професії. Наприклад, у комплект тестових питань для курсантів старших курсів входили питання з дисциплін: «Навігація та лоція», «Теорія та будова судна», «Морехідна астрономія», «Електрорадіонавігаційне обладнання суден» та інші. До речі, частина питань була сформульована англійською мовою.

Підсумкова оцінка знань курсанта складалась із двох рівноважних оцінок – тієї, що до початку тестування з предмету викладачі виставляли в екзаменаційну відомість у вигляді балів поточної успішності курсантів (від 0 до 50 балів), та тієї, що отримали курсанти під

час проходження тестів (автоматично сформований системою результат незалежного тестування, максимальний бал – 50), (табл. 1).

Таблиця 1 – Приклад частини екзаменаційної відомості

Прізвище курсанта	№ залікової книжки	ОЦІНКА				
		Бали поточного контролю	Бали семестрового контролю	Підсумкова кількість балів	ECTS	За національною шкалою
Шевченко Петро	1234567	46	32	78	C	добре

Мета підсумкової перевірки знань у вигляді незалежного комп'ютерного тестування – виявлення рівня володіння курсантами знаннями, вміннями, компетентностями та ступенем готовності конкурувати на ринку праці морської галузі. Такий спосіб перевірки знань, по-перше, надає змогу курсантові оцінити власний рівень знань, а по-друге, допомагає йому звикнути до процедури проходження тестування, яке проводиться у всіх крїїнгових компаніях. Це підтверджує той факт, що підготовка та контроль знань курсантів проводиться комплексно, з урахуванням вимог до компетентнісної підготовки фахівців морського профілю. Систематичне застосування тестового контролю знань створює сприятливі умови для підготовки майбутніх спеціалістів морської галузі до проходження тестування в крїїнгових компаніях, як вітчизняних, так і закордонних [13].

Інструментарій дистанційної платформи MOODLE дає можливість зробити тести більш продуктивними, надійними, а результати тестування – прозорими й об'єктивними. Випробування вважається прозорим, коли курсанти (студенти) мають всю необхідну інформацію про тест: які навички вимірюються, які типи завдань використовуються, який проміжок часу виділяється на проходження тесту, і які критерії оцінювання застосовуються. Ознакою хорошого тесту є наявність зворотного зв'язку – вплив тестування на викладання і процес навчання.

Щоб зробити тест прозорим, курсанти отримують інформацію про час, що надається для відповіді на окреме завдання і значення коефіцієнта вартості кожного тестового питання. Адекватне та вдало підібране розподілення часу дуже важливо для надійності тесту. Брак часу може вплинути на продуктивність роботи курсанта, і навпаки, занадто багато часу для підготовки може зробити штучні проблеми. Тести з дисциплін кафедри ІТКСМ склалися з урахуванням такого балансу, який дозволяє уникнути перевантаження тесту або занадто складними завданнями, або великою кількістю дрібних однотипних завдань.

Таким чином, можна зазначити, що впровадження системи тестування на платформі сайту дистанційного навчання ХДМА складається з декількох складових, а саме:

- створення структури тестування на сайті;
- підготовка тестових завдань різних типів із зазначенням коефіцієнта складності питань;
- проведення пробного тестування з метою перевірки роботи системи та оцінки рівня тестових завдань;
- збір результатів тестування;
- аналіз впливу використання системи дистанційного навчання та незалежного тестування на рівень якості підготовки курсантів.

Блок статистичного аналізу результатів тестування дистанційної платформи дає можливість побачити результати тестування кожного курсанта окремо та всієї групи. Викладачі можуть порівняти результати як усередині групи, так і з іншими групами; проаналізувати отримані бали, що дає продуктивний зворотний зв'язок і можливість визначення тем або розділів навчального матеріалу, який потребує подальшої корекції.

На засіданні науково-методичного семінару кафедри ІТКСМ було прийнято рішення, за яким комп'ютерне тестування на базі системи дистанційного навчання MOODLE може бути проведено як у комп'ютерній аудиторії, так і дійсно дистанційно.

Такий експеримент є дуже важливим для такого навчального закладу як морська академія, тому що за планом навчання курсанти обов'язково проходять плавальну практику.

Висновки. Визначено, що обрана для реалізації проєкту «Сайт дистанційного навчання ХДМА» платформа MOODLE – це інструментальне середовище, яке дозволяє реалізувати для курсанта не тільки можливість отримання інформації у вигляді текстів теоретичного матеріалу або завдань для індивідуального виконання, а й здійснювати розробку як окремих онлайн-курсів, так і освітніх вебсайтів. Ця платформа відповідає всім вимогам, що пред'являються до освітнього інформаційного ресурсу, надає зручний інтерфейс як для т'ютерів, так і для тих, хто навчається. В основу проєкту покладена теорія соціального конструктивізму, тобто спільного формування багатопланового процесу навчання завдяки спрямованості діяльності всієї групи до досягнення спільної мети, та її використання для навчання.

Результати проведеного експерименту показали, що власний сайт дистанційного навчання є дієвим засобом як вивчення саме навчального матеріалу, так і перевірки якості його засвоєння; це об'єктивне оцінювання знань курсантів, їх компетентності як майбутніх фахівців та здатності виконувати складні завдання, що відносяться до їх професійної діяльності. Досвід використання платформи дистанційного навчання в Херсонській державній морській академії як викладачами, так і курсантами підтверджує багатогранність використання даного потужного інструментарію в педагогічній діяльності.

Визначено, що при виконанні процедури впровадження системи дистанційного навчання у освітній процес ХДМА особливу увагу треба приділяти в рівній мірі створенню навчально-методичних матеріалів для самонавчання курсантів та якісній системі тестування з метою перевірки отриманих ними знань, так і інтерактивним формам дистанційного навчання.

Інтерактивні методи навчання на базі СДН MOODLE ХДМА позитивно впливають на якість підготовки курсантів, оволодіння ними необхідними компетенціями для підвищення конкурентоспроможності на світовому ринку праці.

На сьогодні вже існують перші результати впровадження компетентнісного підходу у освітній процес. Зв'язати результати навчання та компетенції – складне питання, якому слід приділяти чимало уваги. Орієнтація на результати освіти є сьогодні актуальним питанням для української вищої школи і вимагає інтеграцію академічної та професійної освіти, визнання кваліфікацій, отриманих у процесі вищої освіти та розвиток освіти протягом усього життя.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Биков В.Ю. Методологічні та методичні основи створення і використання електронних засобів навчального призначення / В. Ю. Биков, В. В. Лапінський // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 2012. – № 2. – С. 3–6.
2. Кухаренко В. М. Теорії навчання на сучасному етапі розвитку дистанційного навчання / В. М. Кухаренко // Теорія та методика електронного навчання. – Кривий Ріг, 2012. – Вип. 3. – С. 153–161.
3. Триус Ю. В. Система електронного ВНЗ на базі MOODLE: Методичний посібник / Ю. В. Триус, І. В. Герасименко, В. М. Франчук // За ред. Ю. В. Триуса. – Черкаси, 2016. – 220 с.
4. Кравцов Г. М. Система моніторингу якості електронних інформаційних ресурсів вузу / Г.М.Кравцов // Інформаційні технології в освіті. – 2008. – № 2. – С. 42–46.
5. Кравцов Г. М. Сучасний стан дистанційного навчання у ВНЗ України / Г. М. Кравцов, Ю. Г. Тарасіч // Матеріали другої Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми теорії та практики дистанційної та електронної освіти». – ХДУ, 2013. – Вип. 2. – С.50–54.
6. Кухаренко В. М., Рибалко О. В., Сиротенко Н. Г. Дистанційне навчання : умови застосування. Дистанційний курс. навч.посібник / За ред. В. М. Кухаренка, 3-е вид. – Харків : НТУ «ХПІ», «Торсінг», 2008. – 320 с.

7. Кухаренко В. М. Системний підхід до змішаного навчання / В. М. Кухаренко // Інформаційні технології в освіті. – 2015. – № 24. – С. 53–67.
8. Пометун О. І. Інтерактивні технології навчання: наук.-метод. посібн. / О. І. Пометун, Л. В. Пироженко. – К. : Видавництво А.С.К., 2010. – 192 с.
9. Січкарук О. І. Інтерактивні методи навчання у вищій школі: навч.-метод. посібник / О. І. Січкарук; Університет економіки та права «КРОК». – К. : Таксон, 2008. – 88 с.
10. Кравцова Л. В. Аналіз ефективності системи дистанційного навчання в процесі перевірки компетенцій / Л. В. Кравцова, Т. В. Зайцева, Н. Г. Камінська // П'ята міжнародна науково-практична конференція «MoodleMoot Ukraine 2017. Теорія і практика використання системи управління навчанням Moodle», м. Київ, 26-27 травня 2017 р.
11. Панфилова А. П. Инновационные педагогические технологии : Активное обучение : учебное пособие / А. П. Панфилова. – М. : Издательский центр «Академия», 2009. – 192 с.
12. Zaytseva T. The Usage of Educational Portal for Distance Learning. Proceedings of 8th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications: Integration, Harmonization and Knowledge Transfer: CEUR.- 2012. – P. 236–242.
13. Zaytseva T. The Introduction of the Competence-based Approach in Educational Process of Training of Skippers // 12th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications: Integration, Harmonization and Knowledge Transfer, 2016. CEUR.
14. Сайт дистанційного навчання ХДМА. Режим доступу до сайту: <http://www.mdl.kma.ks.ua/>.

REFERENCES

1. Bykov, V.Yu., Lapinsky, V.V. (2012). Methodological and methodological foundations for the creation and use of electronic educational tools. *Computer in School and Family*, 2, 3-6.
2. Kukharenko, V.M. (2012). Theory of teaching at the present stage of development of distance learning. *Theory and Method of E-learning*, Krivoy Rog, 3, 153-161.
3. Trius, Yu.V., Gerasimenko, I.V., Franchuk V.M. (2016). Electronic HEI system based on MOODLE. Cherkassy, 220.
4. Kravtsov, G.M. (2008). The system of monitoring the quality of electronic information resources of the university. *Information Technologies in Education*, 2, 42-46.
5. Kravtsov, G.M., Tarasych, Yu.G. (2013). The modern state of distance learning in higher educational institutions of Ukraine. *Materials of the second international scientific-practical conference «Problems of the theory and practice of distance and electronic education»*. 50-54.
6. Kukharenko, V.M., Rybalko, O. V., Syrotenko, N.G. (2008). Distance Learning: Terms of Use. Distance course (3rd ed.). Kharkiv, NTU KhPI Torsing. 320.
7. Kukharenko, V.M. (2015). System approach to mixed learning. *Information Technologies in Education*. 24, 53-67.
8. Pomietun O.I., Pyrozhenko L.V. (2010). Interaktyvni tekhnolohii navchannia: Nauk.-metod. posibn. Vydavnytstvo A.S.K., 192.
9. Sichkaruk O.I. (2008). Interaktyvni metody navchannia u vyshchii shkol. *Navch.-metod. posibnyk. Takson*, 88.
10. Panfylova, A. P. (2009). Ynnovatsyonnie pedahohycheskye tekhnolohyy : Aktyvnoe obuchenye. *Uchebnoe posobyе. «Akademyia»*, 192.
11. Kravtsova L.V., Zaitseva T.V., Kaminska N.G. (2017). Analiz efektyvnosti systemy dystantsiinoho navchannia v protsesi perevirky kompetentsii. *Piata mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «MoodleMoot Ukraine 2017*. Kyiv, 26-27.
12. The KSMA's Distance Learning Site. Retrieved from <http://www.mdl.kma.ks.ua/>

Зайцева Т. В., Кравцова Л. В., Каминская Н. Г. ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

Современное отношение к компетентности претендента на занятие любой должности формирует новые повышенные требования к уровню подготовки специалистов соответствующего профиля. Использование информационных (инновационных) компьютерных технологий в профессиональной деятельности является неотъемлемой составляющей общих компетенций специалиста. Поэтому отношение к проблеме повышения информационной культуры студентов, внедрение в подготовку специалистов морских специальностей информационных технологий, их подготовка к решению сложных проблем с помощью компьютерной техники в Херсонской государственной морской академии (ХГМА) является очень серьезным. В настоящее время растет потребность морского транспорта в специалистах, способных разрабатывать, эксплуатировать и обслуживать современные информационные системы управления транспортными технологическими процессами. Это вызывает необходимость создания новых условий обучения, новых форм представления учебного материала, методики работы с новыми средствами обучения и управления самостоятельной познавательной деятельностью.

Особенно актуальным является вопрос внедрения системы дистанционного обучения в специализированных учебных заведениях, таких, например, как Херсонская государственная морская академия. В соответствии с учебным планом, курсанты ежегодно проходят плавательную практику, которая длится от четырех до шести месяцев, курсант на этот период оторван от непосредственно аудиторного учебного процесса. Активное использование системы дистанционного обучения позволяет ему не прерывать теоретико-практическую составляющую обучения, поддерживать общение с сокурсниками, преподавателями, получать необходимые консультации.

Самостоятельная работа курсанта при поддержке такой информационной среды, как сайт дистанционного обучения, всегда положительно влияет на его уровень подготовки. Поэтому основная задача проекта – предоставить курсанту качественный информационный ресурс, обеспечить его удобным сервисом, полноценным контентом и возможностью общения в режиме диалога как с преподавателями, так и с курсантами академии.

Ключевые слова: интерактивные формы обучения, система дистанционного обучения, компетентностный подход, инновационные технологии.

Zaytseva T. V., Kravtsova L.V., Kaminska N. H. INTRODUCTION OF MODERN INNOVATIVE TEACHING TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS

The modern attitude towards the competency of the applicant for the employment of any position creates new higher requirements for the level of training of specialists of the appropriate profile. The use of information (innovative) computer technologies in professional activities is an integral part of the general competencies of the specialist. Therefore, the attitude to the problem of improving the information culture of students, the introduction of information technologies into the training of specialists in maritime specialists, their preparation for solving complex problems with the help of computer equipment in the Kherson State Maritime Academy is very serious. At present, the need for maritime transport in specialists capable of developing, operating and maintaining modern information systems for managing transport technological processes is growing. This calls for the creation of new learning conditions, new forms of presentation of teaching material, methods of working with new teaching tools and managing independent cognitive activities.

Particularly relevant is the introduction of a distance learning system in specialized educational institutions, such as, for example, the Kherson State Maritime Academy. In accordance with the curriculum, cadets annually undergo a swimming practice, which lasts from four to six months, the cadet for this period is divorced from the directly auditor educational process. Active use of the distance learning system allows him not to interrupt the theoretical and practical component of training, maintain communication with fellow students, teachers, receive necessary consultations.

Independent work of the cadet with the support of such information environment, as a site of distance learning, always positively influences its level of preparation. Therefore, the main task of the project is to provide the cadet with a high-quality information resource, provide it with convenient services, full content and the ability to communicate in a dialogue mode with both teachers and cadets of the Academy.

Keywords: interactive forms of education, distance learning system, competence approach, innovative technologies.

© Зайцева Т. В., Кравцова Л. В., Каминская Н. Г.

Статтю прийнято
до редакції 02.04.18

ВИКОРИСТАННЯ НАВЧАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО СИМУЛЯТОРА «ДИСТАНЦІЙНА АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ГОЛОВНИМ ДВИГУНОМ» У ПРОЦЕСІ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ІНЖЕНЕРІВ-СУДНОМЕХАНІКІВ

Скиданчук С. А., к.пед.н., докторант кафедри загальнотехнічних дисциплін Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова, м. Київ, e-mail: sergejskid@gmail.com, ORCID: 0000- 0002-6905-6091

Стаття присвячена аналізу комп'ютерного симулятора і системи дистанційного автоматичного управління головним двигуном типу MAN B&W сучасного морського судна, який створено в Сингапурській морській академії. В статті проведено аналітичний огляд питання: як найкраще використати ресурс цього симулятора під час проведення практичного заняття як у вищих навчальних закладах водного транспорту, так і в системі підвищення кваліфікації інженерів-судномеханіків у процесі розглядання відповідного навчального модуля з устрою та принципу дії дистанційних автоматичних систем управління головним двигуном судна. Розглянуто, як завдяки даному симулятору навчити майбутніх фахівців алгоритму дистанційного запуску, управління та зупинки головного двигуна морського судна з капітанського містка. Проаналізовано, як досягти кращого розуміння дисципліни газорозподілу двотактного СДВЗ, а саме – управління фазою відкриття пускового клапана та фазою впорскування палива, за допомогою яких відбувається реверсування головного двигуна. Зроблено огляд фази продування робочого циліндра та фази роботи вихлопного клапана в межах симулятора.

Ключові слова: навчальний комп'ютерний симулятор, професійна освіта, система підвищення кваліфікації, інженер-судномеханік, технічні дисципліни.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Сьогодні вищі навчальні заклади водного транспорту для того, щоб зробити процес підготовки інженерів-судномеханіків успішним, мають вирішувати складні проблемні питання інтенсифікації та покращення якості навчального матеріалу. Це зумовлено тим, що суднова енергетика розвивається занадто швидко, а навчальний процес є обмежений у часі та неспроможний охопити весь обсяг навчального матеріалу, необхідного для засвоєння майбутніми фахівцями [7]. Сьогодні використання навчальних симуляторів із судової енергетики [4, 6] стає впевненим кроком на шляху інтенсифікації та покращення якості професійної освіти у розвинутих морських країнах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З 2010 по 2013 автором був проведений аналіз досліджень і публікацій стосовно даної проблеми, який був відображений у дисертаційній роботі з теми «Методика навчання спеціальних дисциплін майбутніх інженерів-судномеханіків з використанням тренажерів» [1]. Актуальні проблеми формування готовності майбутніх механіків до професійної самореалізації у вищому технічному навчальному закладі досліджувалися в роботах Коломійця О.В. [7]. У роботах Горшкова А. Н., Старкова А. Ф., Томакової Р. А. був зібраний досвід створення інформаційно-методичного комплексу та комп'ютерної технології навчання [10]. Створенням навчальних симуляторів автоматичних систем управління різноманітних судових допоміжних систем з елементами реального судового обладнання займалися доценти кафедри судової енергетики, допоміжних механізмів та їх експлуатації Київської державної академії водного транспорту ім. П. К. Сагайдачного Скиданчук А. І., Скиданчук С. А. [8, 9, 2]. Створенням навчальних комп'ютерних симуляторів «Дистанційної автоматичної системи управління головним двигуном типу MAN B&W» морського судна займалися Bhandari R., та Loke K. У Сингапурській морській академії [3]. Розробкою комп'ютерного симулятора «Sturn tube air sealing systems» для свого обладнання, яким оснащуються морські судна займалася японська компанія Kemel (Eagle Industry Co., LTD.) [4]. Проблеми професійної підготовки та розвиток управлінських навичок фахівців водного транспорту в процесі підвищення кваліфікації досліджувалися

Інститутом глобальних навчальних систем на Філіпінах у 2016 році [5]. Сьогодні одним із світових лідерів у комп'ютерному моделюванні суднових енергетичних установок, допоміжних механізмів та систем є англійська компанія Transas [6].

Основна мета статті – аналіз умов покращення методичної бази для використання симулятора «Дистанційна автоматична система управління головним двигуном типу MAN B&W» морського судна в процесі вивчення відповідного навчального модуля як у вищому навчальному закладі водного спрямування, так і під час розглядання його в системі підготовки інженерів-судномеханіків.

Основний матеріал. Даний комп'ютерний симулятор розроблено центром досліджень та розвитку Сингапурської морської академії для полегшення роботи фахівців водного транспорту під час обслуговування головної енергетичної установки морського судна [3]. Після створення викладачем відповідної методичної бази для його більш успішного засвоєння, симулятор може бути використаний у якості навчального комп'ютерного симулятора на практичних заняттях як під час навчання студентів-магістрів напряму «Морський та річковий транспорт», так і в системі підвищення кваліфікації інженерів-судномеханіків.

Симулятор включає в собі шість основних розділів (рис. 1).

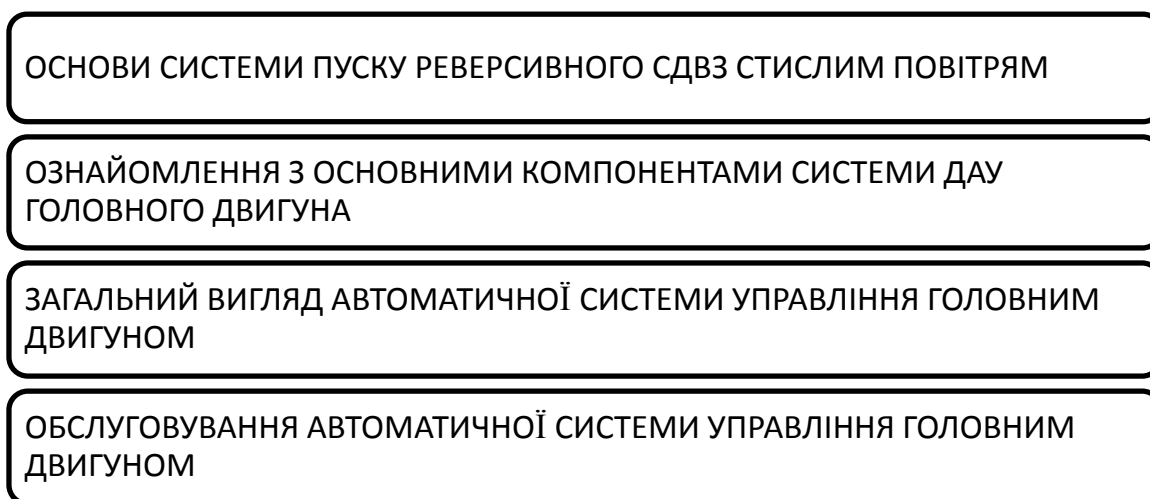


Рисунок 1 – Структура симулятора «Дистанційна автоматична система управління головним двигуном типу MAN B&W»

Основи системи пуску реверсивного СДВЗ стислим повітрям. Використовуючи даний розділ тренажера, викладач має можливість ознайомити студентів з основами системи пуску головного двигуна.

Поняття реверсивного дизеля та гвинта фіксованого кроку. Даний розділ тренажера присвячений стислому опису принципу роботи головної енергетичної установки морського судна з гвинтом фіксованого кроку на передній рух та у зворотньому напрямку. Дається визначення та приклади використання реверсивного дизеля та нереверсивного дизеля, а також поняття «гвинт фіксованого кроку» та «гвинт регульованого кроку». Використовуючи цей підрозділ, викладач може спростити та скоротити вивчення тем, пов'язаних з основою теорії робочих процесів суднових дизелів та характеристикою пропульсивного комплексу. Перевагою використання даного тренажера є можливість для студента побачити в динаміці взаємний зв'язок практики та теорії – напрямку руху судна та кругової діаграми суднового дизеля з відображеною на ній фазою відкриття та закриття пускового клапана. Досить доступно показується дзеркальне переузгоджування фаз газорозподілу, зокрема фаз відкриття та закриття пускового клапана відповідного циліндра для пуску дизеля стислим повітрям у зворотньому напрямку з метою руху судна назад. Якщо використовувати традиційні засоби вивчення відповідних навчальних змістових

модулей, то, по-перше, викладачу потрібний більший час для роз'яснювання даного матеріалу, а по-друге, – менший відсоток студентів відповідної групи буде в спроможності оволодіти ним.

Основи роботи системи автоматичного управління реверсивним дизелем. За допомогою даного підрозділу тренажера викладач у більш стислий час та більш якісно може розкривати такі навчальні модулі, як «Основи теорії робочих процесів суднових дизелів» та «Основи технічної експлуатації СДВЗ». Використовуючи даний розділ, викладач може досить доступно пояснити:

1. Алгоритм підготовки СДВЗ до пуску через пневматичний циліндр повітряного розподільника, який передусім впливає на фазу відкриття пускового клапана відповідного циліндра, а також через пневматичний циліндр паливного насоса високого тиску, який впливає на фазу впорскування палива відповідного циліндра для пуску реверсивного головного двигуна для руху судна “вперед” чи у зворотньому напрямку.

2. Алгоритм розкручування головного двигуна стислим повітрям у заданому напрямку до обертань, необхідних для самозаймання розпиленого дизельного палива у камері згоряння.

3. Алгоритм передачі швидкісного сигналу до паливних насосів високого тиску через паливний регулятор або безпосередньо на плунжера паливних насосів високого тиску через аварійний пост управління головним двигуном у аварійній ситуації.

4. Зупинка головного двигуна через дію на «puncture valves», які виводять паливні насоси високого тиску на «нульову» подачу.

Управління фазою відкриття пускового клапана. З теорії СДВЗ відомо, що фаза відкриття пускового клапана споконвічно не є симетричною відносно ВМТ на круговій діаграмі, тому потребує управління для реверсу головного двигуна. За допомогою методичної літератури даний розділ може досить зрозуміло продемонструвати студентів алгоритм управління фазою відкриття пускового клапана (starting valve), а також залежність напрямку обертання колінчастого вала від зміни самої фази дзеркально відносно ВМТ через відповідне налаштування пневматичного циліндра (57), який переміщає кулачки розподільника пускового повітря (starting air distributor) у позицію для пуску «Вперед» чи у позицію для пуску «Назад». Чітко показано, яким чином це забезпечує своєчасний рух пускового повітря через пускові клапани у циліндри для пуску головного двигуна у відповідному напрямку незалежно від розташування поршнів у циліндрах дизеля на даний момент. Студент має можливість побачити механічний зв'язок пневматичного циліндра (57) та кулачків повітряного розподільника. Суттєвою перевагою використання даної методики [1] під час заняття перед традиційними методиками [5] викладання спеціальних дисциплін є можливість для викладача водночас показати, які практичні зміни відбуваються в системі управління головним двигуном під час його пуску судновим механіком в обох напрямках та відповідні зміни, що відбуваються в теорії відповідного робочого процесу суднової дизельної установки.

Управління фазою впорскування палива. Фаза впорскування палива також не є симетричною відносно ВМТ на круговій діаграмі і тому також потребує управління для реверсу головного двигуна. Даний розділ спрощує та прискорює вивчення студентами такої складної теми, як «Устрій та принцип дії системи дистанційного автоматичного управління головним двигуном» змістового навчального модуля «Аналіз конструкції СДВЗ». За допомогою даного навчального тренажера викладачу значно легше пояснити, як саме фаза впорскування палива змінюється дзеркально відносно ВМТ на круговій діаграмі, що призводить до зміни напрямку обертання дизеля під час запуску з моменту, коли вальцевий штовхач займе протилежну позицію на торцевій частині кулачка розподільного вала, який починає підіймати плунжер для впорскування палива. Показана характерна риса головних двигунів сімейства MAN B&W серії SMC – кулачки приводу паливного насоса високого тиску закріплені безпосередньо на розподільному валу, але вальцевий штовхач плунжера може переміщатися змінюючи фазу впорскування палива. Тягова штанга, що переміщує

вальцевий штовхач кожного ПНВД приводиться в дію пневматичним циліндром (13) через поршень, на який, передеусім діє стиснуте повітря від пневматичної системи управління головним двигуном.

Продувальні вікна та робота випускного клапана. Фази ж відкриття продувальних вікон та випускного клапана навпаки є симетричними відносно НМТ на круговій діаграмі, що досить просто викладач може показати студентам, використовуючи цей розділ тренажера. Тому нескладно пояснити майбутнім фахівцям, чому в даному випадку не потрібне управління фазами процесу наповнення циліндра СДВЗ зарядом свіжого повітря та процесу випуску відпрацьованих газів для їх дзеркального відображення на круговій діаграмі, що відповідно обумовлює використання кулачків приводу на розподільному валі простішої конструкції порівняно кулачками для приводу паливного насоса високого тиску.

Пости управління головним двигуном. Даний розділ викладач може використати для демонстрації постів управління головним двигуном на крупнотоннажному морському судні. Студентам наочно демонструється пояснення таких понять, як «Центральний пост управління (Control Room Console) головним двигуном», «Пост управління головним двигуном з навігаційного мостика» (Remote Control) та «Аварійний пост управління (Engine Side Manoeuvring Console) Головним двигуном».

Ознайомлення з основними компонентами системи управління головним двигуном. За допомогою даного розділу та необхідної методичної бази студент має можливість ознайомитися з принциповою системою управління головним двигуном. Даний блок являє собою структурну схему основних компонентів системи управління судновим дизелем. Водночас, кожний блок має індикатор, при натисненні на який мишкою комп'ютера студент отримує інформацію про знаходження цього елемента та його зв'язок з іншими елементами на загальній автоматичній системі управління головним двигуном. Основні елементи системи: консоль управління головним двигуном, пусковий клапан, паливний насос високого тиску, реверсивний механізм та повітряний розподільник зображені у вигляді ескізу, наближеного до реального виду.

Загальний вигляд автоматичної системи управління 2-тактним головним двигуном. За допомогою даного розділу та відповідної методичної бази студенти мають можливість набути практичних навичок з управління головною енергетичною установкою з капітанського містка, центрального поста управління та аварійного поста. По-перше, необхідно ознайомитись із принциповою дистанційною автоматичною системою управління головним двигуном на прикладі тихохідного 2-тактного суднового дизеля сімейства MAN B&W модельного ряду K/L/S50-70MC-C. За допомогою даного матеріалу викладач може наглядно показати яким чином відбувається пуск, реверс та робота головного двигуна, який управляється чи з капітанського містка, чи з центрального поста управління, що знаходиться в машинному відділенні через привід у дію відповідних електромагнітних клапанів. За допомогою розробленої викладачем належної методичної бази можна досягти виконання таких задач під час проведення практичних занять з відповідних модулів:

1. Вивчення алгоритму налаштування головного двигуна для пуску у визначеному напрямку.
2. Вивчення алгоритму пуску головного двигуна.
3. Принцип управління частотою обертань головного двигуна.
4. Вивчення алгоритму зупинки головного двигуна.

Великою перевагою використання даної методики [1] є те, що студент має можливість бачити протікання вищевказаних процесів у динаміці із синхронним фарбуванням відповідних відрізків даної системи та електромагнітних (пневматичних) клапанів, які активуються, що безумовно значно полегшує розуміння цих складних процесів майбутніми фахівцями під час проведення заняття з відповідного навчального модуля. В цьому розділі симулятора студент має можливість прослідкувати з практичної

боку, як під впливом вахтеного механіка дана система автоматично налаштовує головний двигун на визначений напрямок пуску (та відповідно подальшої роботи на паливі) головного двигуна через дію на пневмоциліндр повітряного розподільника та пневмоциліндри паливних насосів високого тиску. Показується у динаміці як пускове повітря направляється у відповідні циліндри через повітряний розподільник (Starting Air Distributor) та відповідні пускові клапани для розкручування ГД у визначеному напрямку. Далі студент має можливість побачити, що тільки но дизель розкрутився до достатньої частоти обертання – яким чином подача повітря припиняється, та розпилене паливо подається на форсунку, яка впорскує паливо у циліндр дизеля. Демонструється процес управління частотою обертання дизеля, який досягається шляхом надсилання сигналу про задані налаштування швидкості до регулятора обертів. Показується процес зупинки дизеля який досягається впливом стиснутого повітря (7 bar) на «панкчерні клапани» (*puncture valves*), які налаштовують паливні насоси високого тиску на рециркуляцію, а також впливом системи на регулятор, який повертає плунжера всіх паливних насосів високого тиску на «нульову подачу». Приділяється також увага блокувальним пристроям, які використовуються в системі аварійного захисту головного двигуна. Кожний елемент системи має інформаційну виноску, натиснувши на яку студент отримує вікно зі стислим описом цього вузла англійською мовою.

Висновки. Сьогодні Україна входить до трійки держав, що навчають найбільшу кількість фахівців для роботи у сфері міжнародної суднової енергетики. За останні роки ця галузь набула значного розвитку. І надалі вищі навчальні заклади водного транспорту та навчальні центри підготовки, перепідготовки, підвищення кваліфікації та сертифікації фахівців водного транспорту долають значні труднощі [7], тому що освітній процес є обмеженим у часі та залишиться таким, а кваліфікаційні вимоги до інженера-судномеханіка з боку морських міжнародних законодавчих організацій з кожним роком зростають. Один зі шляхів подолання цього проблемного питання [9] – це перспектива створення системи професійного розвитку фахівців водного транспорту, де важливу роль будуть відігравати інформаційно-методичний комплекс та комп'ютерна технологія навчання на практичних заняттях, зокрема в післядипломній освіті з метою інтенсифікації та покращення якості професійної освіти, забезпечуючи у майбутньому охорону життя в міжнародному судноплавстві, захист навколишнього середовища від забруднення небезпечними речовинами із суден та залишаючи нашу державу конкуретоспроможною на міжнародному ринку у сфері підготовки кваліфікованих кадрів морської галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Скиданчук С.А. Методика обучения специальным предметам для будущих морских инженеров с помощью тренажеров : дис..... канд наук : 13.00.02 / С.А. Скиданчук. – К., 2013. – 317 с.
2. Skydanchuk S. Special Subjects Teaching Methods in Marine Engineers' Vocational Education System. Skydanchuk S. // TransNav.– International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – Gdynia Maritime University, Poland 2013.- Volume 7, No.3.- P.337-340.
3. Bhandari R., Loke K. Starting Air Systems / Simulator for MAN Diesel Engines K/L/S50-70MC. [Електронний ресурс] / Bhandari R. Kevan L. // Singapore Marine Academy. – 2001.
4. Sturn Tube Air Sealing (Type AX non-pollution) System simulator // Kobelco Eagle Marine Engineering Co., LTD.- Japan.- 2008.
5. Engine Resource Management. Course Handout // Global Training Systems – Philipines, Inc. 2003.
6. Main Propulsion Plant Simulator // St. Petesburg branch of Transas Co. 2000.
7. Коломієць О.В. Формування готовності майбутніх механіків до професійної самореалізації у вищому технічному навчальному закладі, як актуальна проблема /

О.В. Коломієць // Засоби навчальної та науково-дослідної роботи.- Харків.-2014.- Вип. №43.- С.102-109.

8. Скиданчук С.А. Методика навчання змістового модуля спеціальної дисципліни майбутніх інженерів-судномеханіків з використанням навчального тренажера «Оператор судових автоматичних котельних форсунок» / С.А. Скиданчук // Засоби навчальної та науково-дослідної роботи.- Харків.- Вип.№41.- 2013.- С.202-209.

9. Скиданчук С.А. Моніторинг стану підготовки майбутніх інженерів-судномеханіків у процесі вивчення спеціальних дисциплін / С.А. Скиданчук // Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми.- Київ-Вінниця.- Вип. № 34, 2013.

10. Горшков А. Н., Старков А. Ф., Томакова Р. А. Опыт создания информационно-методического комплекса и компьютерная технология обучения // Досвід і проблеми організації самостійної роботи і контролю знань студентів: матер. II Міжнар.наук.-практ.конф. Суми, 1995.

REFERENCES

1. Skydanchuk S. Special Subjects Teaching Methodology for future marine engineers by means of simulators. Skydanchuk S. / Dissertation on pedagogical sciences degree // Skydanchuk S. Kyiv, 2013.

2. Skydanchuk S. Special Subjects Teaching Methods in Marine Engineers' Vocational Education System. Skydanchuk S. // TransNav.– International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. Gdynia Maritime University, Poland 2013. Volume 7, No. 3. P. 337-340.

3. Bhandari R., Loke K. Starting Air Systems / Simulator for MAN Diesel Engines K/L/S50-70MC. / Bhandari R. Kevan L. // Singapore Marine Academy. – 2001.

4. Sturn Tube Air Sealing (Type AX non-pollution) System simulator // Kobelco Eagle Marine Engineering Co., LTD. Japan. 2008.

5. Engine Resource Management. Course Handout // Global Training Systems – Philipines, Inc. 2003.

6. Main Propulsion Plant Simulator // St. Petesburg branch of Transas Co. 2000.

7. Kolomiets O. Forming future engineers' readiness for self-actualization in high educational technical institution as a problem of today / Kolomiets O. // Means of educational and research activity. Kharkiv. 2014.-Issue No.43. P.102-109.

8. Skydanchuk S. Special subject module teaching methodology for future marine engineers by means of «Automatic burner operator de-facto simulator» / Skydanchuk S. // Means of educational and research activity. Kharkiv. 2013. Issue No.41. P.202-209.

9. Skydanchuk S. Monitoring of future marine engineers knowledge condition when teaching special subjects / S. Skydanchuk // Modern information technologies and innovational educational methods in teaching specialists: methodology, theory, experience. Ukraine Kyiv-Vinnitsa.- Issue No.34, 2013.

10. Gorshkov A., Starkov A., Tomakova R. Experience of creating the information-methodological complex and computer technology of studying / Experience and problems of the out- of-class studying management and testing of students // International theoretical and practical forum. Sumi, 1995.

Скиданчук С. А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЧЕБНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО СИМУЛЯТОРА «ДИСТАНЦИОННАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГЛАВНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ» В ПРОЦЕССЕ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ИНЖЕНЕРОВ-СУДОМЕХАНИКОВ

Статья посвящена анализу компьютерного симулятора по системе дистанционного автоматического управления главным двигателем семейства MAN B&W современного морского судна, который был разработан в Сингапурской морской академии. В статье проведен аналитический обзор вопроса: как наилучшим образом использовать ресурс данного симулятора во время проведения практического занятия, как в высших учебных заведениях водного транспорта, так и в системе повышения квалификации инженеров-судомехаников в процессе рассмотрения соответствующего учебного модуля по устройству и принципу действия дистанционных автоматических систем управления главным двигателем судна. Рассмотрено как, благодаря данному симулятору, научить будущих специалистов алгоритму дистанционного пуска, управления и остановки главного двигателя морского судна с капитанского мостика. Проанализировано, как достичь наилучшего понимания процессов газораспределения в двухтактном СДВС, а именно – управления фазой открытия пускового клапана и фазой впрыска топлива, при помощи которых происходит реверсирование главного двигателя. Сделан обзор фазы продувания рабочего цилиндра и фазы работы выхлопного клапана в пределах симулятора.

Ключевые слова: учебный компьютерный симулятор, профессиональная подготовка, система повышения квалификации, инженер-судомеханик, технические дисциплины.

Skydanchuk S. THE USE OF A TRAINING COMPUTER SIMULATOR «REMOTE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR THE MAIN ENGINE» IN THE PROCESS OF IMPROVING THE QUALIFICATION OF SHIP ENGINEERS

The article reviews analysis of the computer simulator, which has been developed in Singapore marine academy, in main engine remote control system MAN B&W type for a modern marine vessel. Here was analyzed the question: what is the best way of using the resource of the simulator during practical lessons both in high educational Institutions and in advanced marine engineering educational system, in order to improve understanding, when studying in classes appropriate module in main engine remote control system by future water transport specialists. Procedure of remote starting, controlling, stopping of a main engine from the navigational bridge, and the way to use this material for studying were considered in the article. It was examined, how to achieve the best understanding in classes the fuel and engine valve's timing processes, which provide reversing of a two stroke engine. Charging air process and exhaust valve timing were discussed from the side of the simulator as well.

Keywords: vocational education, educational computer simulator, marine engineer, technical subjects, advanced marine engineering training.

© Скиданчук С. А.

Статтю прийнято
до редакції 16.03.19

СТВОРЕННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕЄСТРАЦІЇ ТА ПЕРЕВІРКИ ДОКУМЕНТІВ МОРЯКІВ УКРАЇНИ

Тихонов І. В., к.т.н., с.н.с., доцент кафедри судноводіння та керування судном
Державного університету інфраструктури та технологій, e-mail: itykhonov@i.ua,
ORCID 0000-0001-7628-3914;

Дніпровський Ф. С., директор Державного реєстру документів моряків України
Інспекції з питань підготовки та дипломування моряків

У статті надана інформація про прикладне вирішення завдання розробки та еволюційного практичного запровадження автоматизованої системи реєстрації та перевірки документів моряків України протягом останніх років відповідно до вимог Конвенції ПДНВ з використанням сучасних інноваційних технологій та технічних рішень. Наведені вимоги щодо програмного та апаратного забезпечення, які були виконані під час створення єдиного Державного реєстру документів моряків України та його структура. Запровадження реєстру дозволяє здійснювати внесення даних щодо кваліфікаційних документів моряків до єдиної національної бази даних, а також оперативно надавати інформацію щодо статусу та дійсності таких документів зацікавленим сторонам та морським адміністраціям інших країн і судноплавним компаніям, які надсилають запити щодо можливості роботи українських моряків на іноземних судах. Практичним результатом запровадження автоматизованих систем ДРДМУ є виконання відповідних міжнародних вимог, що створює усі умови для безперешкодного працевлаштування українських моряків на судах іноземних судновласників в усьому світі.

Ключові слова: кваліфікація, база даних, реєстр, перевірка дійсності документів, легітимність документів

Вступ. Постановка задачі. Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року, з поправками (Конвенція ПДНВ) [1] установлює вимоги щодо кваліфікаційних документів моряків: дипломів осіб командного складу (Certificate of Competency) та їх підтверджень (Endorsement), свідоцтв осіб рядового складу (Certificate of Proficiency), сертифікатів морських навчально-тренажерних закладів (Certificate).

Крім того, пунктами 14 та 15 Правила I/2 Конвенції ПДНВ встановлені зобов'язання усіх країн сторін цієї Конвенції:

- вести реєстр кваліфікаційних документів моряків та їх підтверджень;
- надавати інформацію щодо статусу таких документів іншим Сторонам і компаніям, які надсилають запити щодо можливості роботи українських моряків на іноземних судах.

Розділом А-I/2 Кодексу ПДНВ (пункти 7, 9) установлені такі вимоги щодо доступу до реєстрів та баз даних для реєстрації документів:

необхідно забезпечити, щоб Сторони та компанії мали контрольований доступ до реєстру, з тим щоб підтвердити:

- ім'я моряка, якому виданий кваліфікаційний документ, а також номер, дату видачі та дату закінчення строку дії цього документа;
- посаду, яку власник документа може обіймати, та будь-які обмеження;
- функції, які може виконувати власник документа, дозволені рівні відповідальності та будь-які обмеження, що до них відносяться.

2. Зазначена нижче інформація повинна бути зареєстрована і доступна як на папері, так і в електронній формі, відповідно до Правила I/2:

- статус диплома (з реєстрацією змін у статусі, зокрема дати таких змін): дійсний; дія призупинена; анульований; заявлений як утрачений; знищений (ліквідований);
- відомості про диплом: повне ім'я моряка; дата народження; громадянство; стать; фотографія (рекомендується); номер відповідного документа; дата видачі; дата закінчення строку дії; дата останнього повторного підтвердження диплома;

– відомості щодо компетентності: стандарт компетентності ПДНВ (наприклад, Правило II/1); посада; функція; рівень відповідальності; підтвердження; обмеження.

Мета статті. З метою виконання вимог Конвенції ПДНВ щодо наявності та параметрів національного реєстру документів моряків необхідно було вжити організаційних, технічних та нормативних заходів для створення єдиного Державного реєстру документів моряків України. До 2001 року такого реєстру в Україні не існувало.

Рішення задачі. Діяльність зі створення національного єдиного Державного реєстру документів моряків України, що повною мірою відповідає вимогам Конвенції ПДНВ, почалась у 2001 р. та проходило в три етапи.

Перший етап. З метою комплексного виконання вимог Конвенції ПДНВ відповідно до [2] у 2001 році була створена Інспекція з питань підготовки та дипломування моряків (Інспекція). Відповідно до пункту 4.4 Положення на Інспекцію [3], на неї серед іншого, було покладено завдання щодо ведення реєстру усіх виданих в Україні документів моряків. Для цього у 2001 році у складі Інспекції був створений підрозділ «Державний реєстр документів моряків України» (ДРДМУ).

Для виконання покладеного завдання у серпні 2002 року Інспекцією, начальником якої був один з авторів цієї статті, було підготовлено та затверджено Технічне завдання (ТЗ) на створення автоматизованої системи «Реєстр документів моряків, виданих в Україні, що затверджують їх кваліфікацію» (АС «Реєстр»), відповідно до яких була створена ця автоматизована система. Під час підготовки ТЗ були враховані усі вимоги Конвенції ПДНВ щодо порядку ведення реєстру, а також резолюція Міжнародної морської організації (ІМО) А.892 (21), прийнята 25.11.1999 р. «Незаконна практика, пов'язана з професійними стандартними дипломами та підтвердженнями» [4] та циркулярний лист ІМО № 918 від 27.05.1999 р. «Керівництво посадовим особам, що здійснюють контроль суден державою порту відносно дипломів, виданих відповідно до положень Конвенції ПДНВ» [5]. Результатом реалізації ТЗ було введення в експлуатацію з 01.01.2003 р. автоматизованої системи АС «Реєстр» та відповідної бази даних ДРДМУ (БД).

Відповідно до програмної архітектури АС «Реєстр» (рис. 1) в експлуатації цієї автоматизованої системи беруть участь наступні суб'єкти:

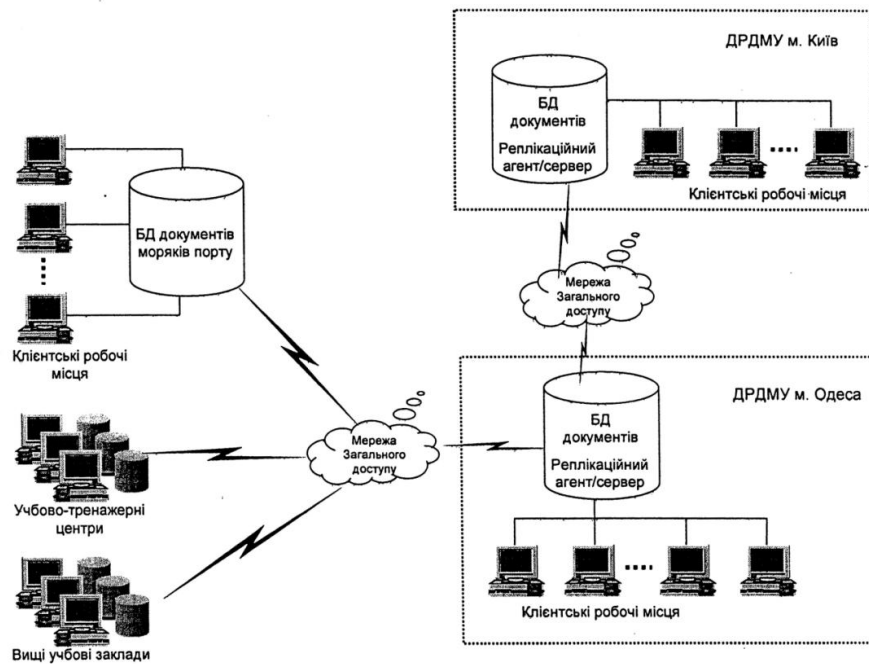


Рисунок 1 – Програмна архітектура АС «Реєстр»

– дипломно-паспортні відділи капітанів морських портів (ДПВ) (відповідно до статті 78 Кодексу торговельного мореплавання України кваліфікаційні документи морякам видаються капітанами морських портів);

- навчально-тренажерні заклади, що здійснюють підготовку моряків (НТЗ);
- морські заклади вищої освіти України (ЗВО);
- ДРДМУ в м. Києві та його локальна мережева складова в м. Одеса.

За запитамі клієнтів (судновласників, кріюінгових компаній, морських адміністрацій інших країн, Міністерства транспорту України та інших органів державної влади) ДРДМУ надає відповіді щодо наявності в БД та дійсності документів моряків.

Загальна структура комплексу технічних засобів Реєстру включає: локальну обчислювальну мережу (ЛОМ); обладнання для побудови глобальної обчислювальної мережі; серверні платформи; робочі станції; принтери.

Серверні платформи та робочі станції встановлені в приміщенні ДРДМУ з обмеженим доступом та підключені до ЛОМ Реєстру у м. Києві. Схема ЛОМ наведена на рис. 2.



Рисунок 2 – Схема організації локальної обчислювальної мережі

Розробка та запровадження БД та програмного забезпечення в ДРДМУ забезпечили:

- прийом даних, які надходять з ДПВ, НТЗ, ЗВО в електронному форматі;
- перевірку даних, які надходять з ДПВ, НТЗ, ЗВО на відповідність узгодженому

Інспекцією формату;

- внесення до БД отриманих від ДПВ, НТЗ, ЗВО даних;
- пошук документів за критеріями, перегляд та друк результатів пошуку;
- зміна або внесення позначок щодо статусу документів («загублено», «анульовано», «призупинено дію» тощо);

- перегляд та друк регламентованих звітів по документах та запитах клієнтів;

– введення та редагування даних по запитах клієнтів (судновласників та кріюінгових компаній) на предмет перевірки дійсності виданих документів;

– наявність штатних засобів та процедури резервування БД на компакт-диски та магнітні стрічки, а також відновлення БД з цих носіїв у випадку позаштатних ситуацій;

– наявність штатних засобів та процедури створення архівів даних центральної БД на компакт-дисках, якщо строк дійсності цих документів вичерпано.

Загальна структура Реєстру наведена на рис. 3.

Враховуючи організаційні та технічні умови, що існували на час запровадження АС «Реєстр» на суб'єктах АС «Реєстр», розробка підсистем АС «Реєстр» проводилася з використанням наступного програмного забезпечення:

- БД: MS Access 97 (для ДПВ); MS SQL Server 2000 (для ДРДМУ);
- клієнтське програмне забезпечення Delphi 6,0;

– програмне забезпечення для передачі даних: MSAccess 97 (для ДПВ); MS SQL Server 2000 (для ДРДМУ); сервер електронної пошти; сервер видачі та перевірки сертифікатів.

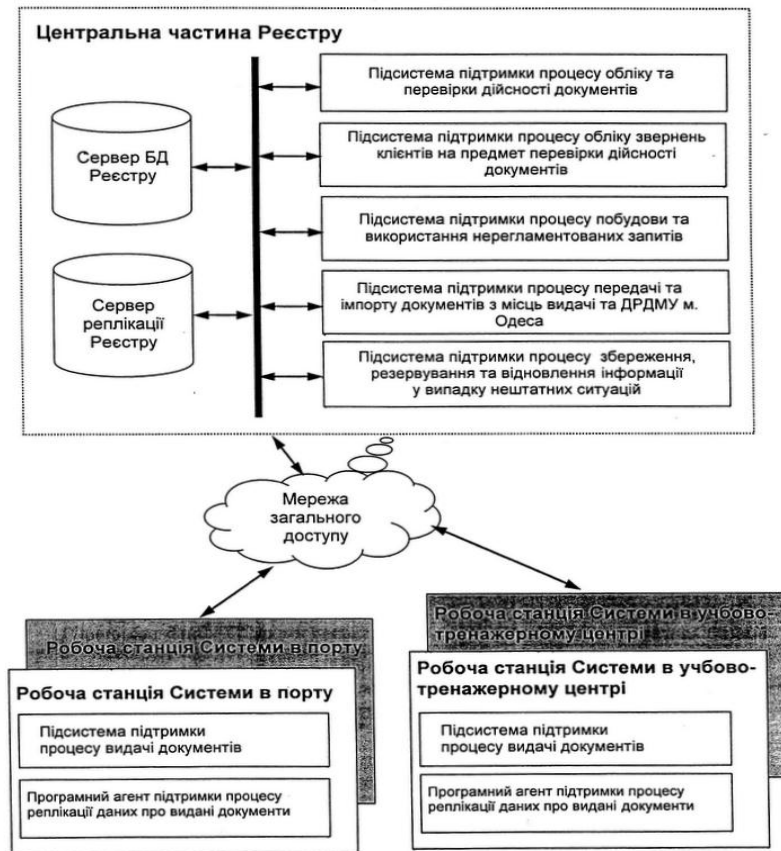


Рисунок 3 – Загальна структура Реєстру

Після розробки та запровадження програмне забезпечення АС «Реєстр» було затверджено та введено в дію з 01.01.2003 року [6]. Право видавати кваліфікаційні документи морякам надано капітанам Ізмайльського, Іллічівського, Керченського, Маріупольського, Миколаївського, Одеського, Севастопольського та Херсонського морських торговельних портів [7]. Положення про ведення єдиного Державного реєстру документів моряків затверджено наказом Міністерства транспорту України № 3 від 08.01.2003 [8].

Таким чином, у результаті розробки та запровадження в діяльність ДРДМУ та капітанів морських портів програмного забезпечення АС «Реєстр» повною мірою були виконані відповідні вимоги Конвенції ПДНВ. Крім того, запровадження АС «Реєстр» дозволило забезпечити 100 % перевірку легітимності документів, які приймалися під час підтвердження кваліфікації моряків у державних кваліфікаційних комісіях. Водночас лише за 2003 рік кількість нелегітимних документів моряків при підтвердженні кваліфікації в ДКК зменшилася в десятки разів. Інформацію про створення автоматизованої системи ДРДМУ та результати його запровадження було направлено Генеральному секретарю ІМО у Звіті про незалежну оцінку національної системи підготовки та дипломування моряків у січні 2004 року. За результатами розгляду цього Звіту Україна була внесена до переліку країн, які повною мірою виконали вимоги Конвенції ПДНВ [9].

Після запровадження АС «Реєстр» у зв'язку із змінами у національному законодавстві та міжнародних вимогах [10, 11, 12, 13, 14] Інспекцією вносилися доповнення до програмного та апаратного забезпечення стосовно додаткового внесення до БД щодо:

- підтвердженень, що засвідчують визнання дипломів іноземних моряків;
- Послужних книжок моряка;
- свідоцтв «Офіцер з охорони судна».

Для цього АС «Реєстр» відповідно розширяло свої функції шляхом створення нових підсистем та клієнтських баз. Завдяки запланованій під час створення ТЗ АС «Реєстр» можливості розширення функцій ДРДМУ та значного обсягу вільної загальної ємності накопичувача на жорсткому диску та оперативного запам'ятовувального пристрою сервера, розширення та зміна цих функцій не викликали суттєвих ускладнень під час запровадження.

Другий етап. Відповідно до п. 4.4. Порядку роботи державних кваліфікаційних комісій (ДКК) [15] дійсність усіх наданих моряками кваліфікаційних документів, повинна обов'язково перевірятися в ДРДМУ. За результатами підтвердження кваліфікації видається Протокол ДКК, на підставі якого моряк отримує у капітана порту кваліфікаційний документ та/або його підтвердження. Водночас у кваліфікаційних документах, що видаються капітанами портів, дані стосовно звання кваліфікації, освіти, посад, функцій, рівня відповідальності та обмежень повинні повною мірою відповідати записам у Протоколах ДКК. Це викликало необхідність внесення суттєвих відповідних змін до АС «Реєстр». Для вирішення цієї задачі у 2007 році Інспекцією була додатково створена та запроваджена автоматизована система обліку протоколів ДКК (АС «ДКК»).

Ця система дозволила за єдиною програмою:

- перевіряти на легітимність у БД ДРДМУ надані моряками в ДКК документи;
- заповнювати та друкувати Протоколи ДКК у регіональних філіях Інспекції;
- вести облік Протоколів ДКК у БД ДРДМУ;
- передавати дані, які заносяться до Протоколів ДКК, до БД ДРДМУ та баз даних локальних обчислювальних мереж ДПВ капітанів морських портів;
- на підставі цих даних заповнювати документи моряків у ДПВ капітанів портів.

Завдяки об'єднанню функціонування АС «Реєстр» та АС «ДКК» та з урахуванням створення БД ДРДМУ відпала необхідність в існуванні локальної мережі ДРДМУ в м. Одеса, яка була ліквідована, а її функції були повністю покладені на ДРДМУ в м. Києві.

Третій етап. З урахуванням змін у технологіях у світовому морському суднопластві та з метою посилення вимог щодо компетенції моряків як вирішального фактора безпеки судноплавства в червні 2010 року на Конференції країн-сторін Конвенції ПДНВ у м. Маніла (Філіппіни) була прийнята нова редакція Конвенції ПДНВ (Манільські поправки до Конвенції ПДНВ), в якій, серед іншого, були внесені нові більш розширені вимоги щодо порядку ведення усіма країнами національних реєстрів документів моряків, зокрема необхідність створення не пізніше 01.01.2017 р. доступних електронних баз даних для можливості максимально швидкої перевірки дійсності кваліфікаційних документів моряків та подачі відомостей про документи англійською мовою за допомогою електронних засобів.

Це викликало необхідність розробити нову версію програмного забезпечення ДРДМУ стосовно змісту та порядку внесення та надання інформації щодо статусу документів моряків. Для комплексної імплементації вимог Манільських поправок до Конвенції ПДНВ у 2014 р. Міністерством інфраструктури та Державною інспекцією України з безпеки на морському та річковому транспорті був розроблений та затверджений План заходів, відповідно до якого Інспекції було доручено створити сучасну автоматизовану систему реєстрації та перевірки документів моряків України (Система). У складанні цього Плану заходів та відповідних нормативних актів брали безпосередню участь автори цієї статті.

У липні 2015 р. Інспекцією було підготовлено ТЗ на Систему, яка після розробки, впровадження та дослідної експлуатації була повною мірою запроваджена у вересні 2017 р. Ця система призначена для автоматизації та інформаційно-технологічної підтримки основної виробничої діяльності ДРДМУ на основі впровадження єдиної системи заповнення, збереження та обміну даними між ДПВ, НТЗ, кріюінговими компаніями, іноземними адміністраціями та іншими ідентифікованими групами запитувачів з використанням сучасних інформаційних технологій, і після розробки та практичного запровадження повинна замінити АС «Реєстр». Під час розробки ТЗ та програмного

забезпечення були використані матеріали наукових праць та враховані вимоги щодо захисту інформації [16, 17, 18, 19]. Опис функціонального складу Системи наведений на рис. 4.

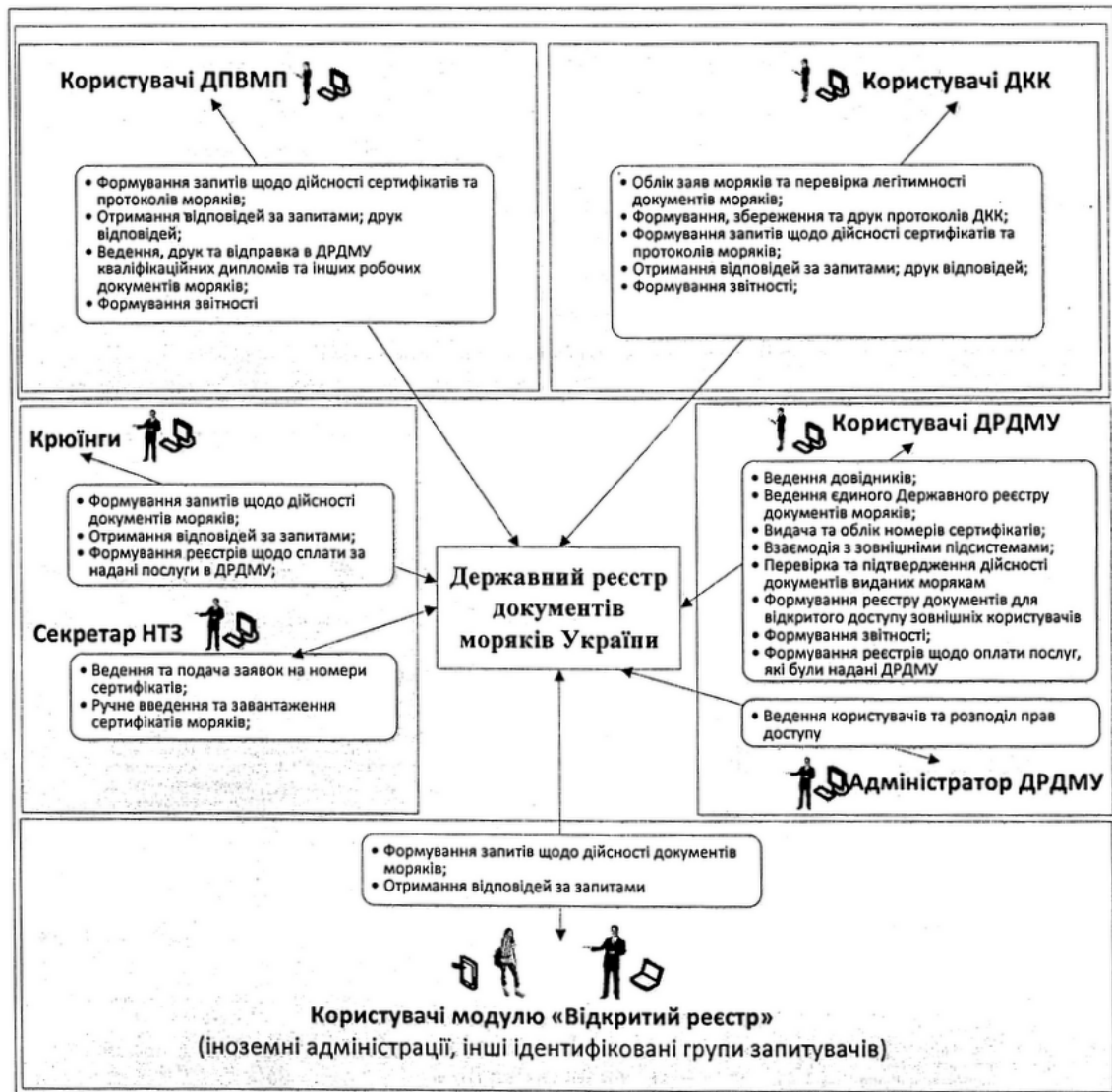


Рисунок 4 – Функціональний склад Автоматизованої системи реєстрації та перевірки документів моряків України

Система забезпечує автоматизацію наступних процесів:

- формування єдиної бази даних по всіх документах моряків на території України, які видані ДПВ капітанів морських портів, НТЗ та ДКК;
- формування заявок від НТЗ на номери для сертифікатів моряків;
- реєстрація номерів сертифікатів за заявками;
- перевірка на дійсність наданих моряками документів;
- формування, збереження, перегляд та друк протоколів ДКК;
- ведення та завантаження інформації щодо сертифікатів моряків;
- ведення і друк документів моряків у ДПВ капітанів морських портів;
- створення єдиної бази даних організацій та установ, які проводять перевірку документів моряків України;
- облік запитів, їх обробка, формування та друк відповідей;
- формування звітів;
- ведення користувачів та розподіл прав доступу;
- ведення довідників;

- аудит дій користувачів у Системі;
- ведення відкритого реєстру та контрольований відкритий доступ до обмеженої частини електронних баз даних з метою перевірки наявності кваліфікаційних документів моряків України в ДРДМУ через мережу Internet (тобто, забезпечення доступу до функцій перевірки за допомогою будь-якого Web-браузера) для доступу зовнішніх користувачів.

Функціонально Система складається з таких частин:

- Реєстр – головна частина Системи, що розміщується на серверах ДРДМУ та яка забезпечує увесь технологічний процес роботи ДРДМУ та дипломування моряків;
- Web-інтерфейси, що забезпечують віддалений доступ секретаря ДКК, інспектора ДПВ, капітана морського порту та працівника ДРДМУ у роботі з БД;
- Підсистеми взаємодії з НТЗ – Web-інтерфейс, відповідальний за завантаження звітів від НТЗ щодо виданих сертифікатів;
- Модуль «Відкритий реєстр» – Web-сайт, що реалізує контрольований доступ до обмеженої частини електронних баз даних з метою перевірки наявності документів моряків України в ДРДМУ через мережу Internet;
- Резервне сховище даних – комплекс програмно-апаратних засобів, що реалізують резервування даних для роботи модуля «Відкритий реєстр».

Система реалізована за наступними параметрами і принципами:

- серверне обладнання Системи розташовано в одному приміщенні та зв'язано між собою швидкісними (1 Гб/с) каналами обміну даними;
- клієнтські частини користувачів окремих ЛОМ зв'язуються каналами обміну даними зі швидкістю не менше ніж 10 Мб/с;
- обмін інформацією між ДРДМУ та користувачами здійснюється з використанням каналів загального доступу Internet зі швидкістю обміну інформації не менше ніж 128 Кб/с;
- обмін текстовими даними здійснюється за форматами XML, HTML, RTF, PDF;
- обмін електронними таблицями здійснюється за форматами XLSX, XLS, CSV;
- Web-інтерфейси Системи забезпечують коректну роботу користувача через браузері Microsoft Internet Explorer 9.0 або вище, Mozilla Firefox 39 або вище, Opera 31.0 або вище, Chrome 44 або вище, AppleSafari;
- Web-інтерфейс «Відкритого реєстру» забезпечує коректну роботу користувача через браузері Microsoft Internet Explorer 9.0 або вище, Mozilla Firefox 39 або вище, Opera 31.0 або вище, Chrome 44 або вище, Apple Safari та надає можливість доступу через мобільні пристрої;
- Система надає можливість одночасної роботи не менше 1000 користувачів з використанням Web-інтерфейсу;
- працездатність системи 24 години на добу, 7 днів на тиждень;
- організація безперебійного електроживлення технічного обладнання;
- забезпечення автономної роботи Системи при аварійній ситуації не менше 20 хв.;
- застосування стандартних та уніфікованих інтерфейсів;
- використання ліцензійного програмного забезпечення;
- виконання вимог ДСТУ 3396.0-96 «Захист інформації. Технічний захист інформації. Основні положення»;
- своєчасне виконання процесів адміністрування Системи;
- виконання правил експлуатації і обслуговування програмно-апаратних засобів.

Архітектурна схема Автоматизованої системи реєстрації та перевірки документів моряків України наведена на рис. 5.

Під час створення системи виконані такі мінімальні технічні вимоги для:

- 1) центрального та резервного серверів бази даних:
 - процесор – Intel (R) Xeon (R) CPUX56760, 2,80 Ghz ;

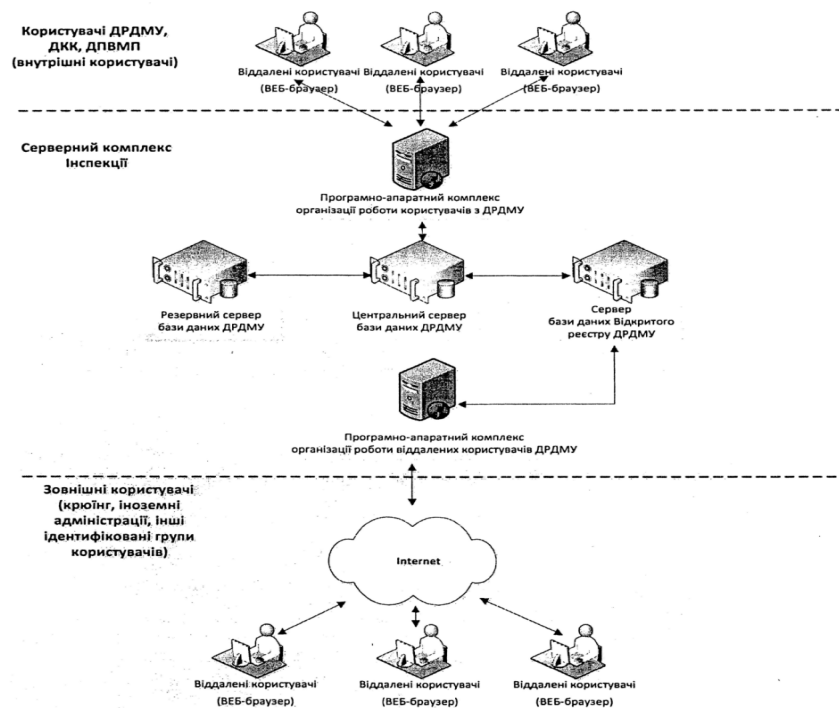
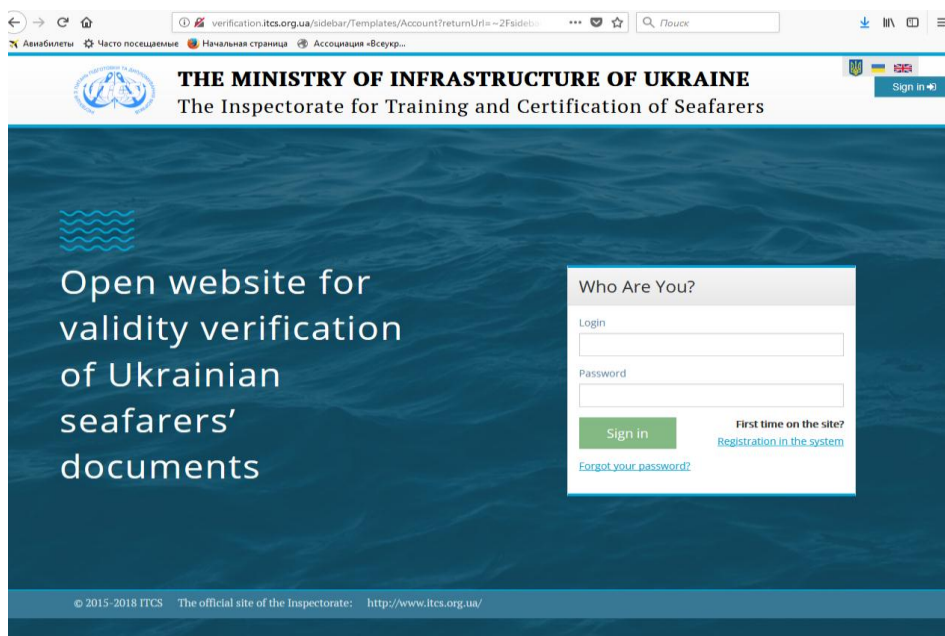


Рисунок 5 – Архітектурна схема Автоматизованої системи реєстрації та перевірки документів моряків України

- оперативна пам'ять – 32 Гб або більше;
- операційна система - Windows Server 2003 R2 Enterprise;
- жорсткий диск – Raid 5 – 2 Тб або більше;
- мережевий адаптер – 1 Гбіт/сек.
- 2) робочих станцій замовників:
 - процесор – не нижче ніж Celeron 2,0 Ghz ;
 - оперативна пам'ять – 512 Мб або більше;
 - операційна система - Windows XP SP3 або вище;
 - жорсткий диск – Raid 5 – вільне місце для програми 4,3 Гц або більше;
 - мережевий адаптер – Internet 512 кбіт/сек.
- системи управління базами даних: Oracle 10 G 64-bit Standard Edition з можливістю переходу на вищі серії та на Enterprise Edition);
- 3) операційної системи Web-сервера та загальносистемних компонент:
 - операційна система Web-сервера – Windows Server 2008 R2 або вище;
 - Internet Information Services (IIS) – 7,5 або вище;
 - Microsoft .NET Framework – 4,5 або вище;
 - Oracle Client x 86 (Odac 11/20/30) або вище.
- 4) робочих місць віддалених користувачів Системи:
 - операційна система для робочих станцій - Windows XP SP3 або вище;
 - ширина каналів зв'язку – Internet 512 кбіт/сек.
- 5) лінгвістичне забезпечення:
 - кодування символів бази даних CL8WIN1251, яка забезпечує збереження даних українською, англійською та російською мовами;
 - мова доступу даних – SQL;
 - мова реалізації логіки з боку клієнта – JavaScript;
 - мова реалізації функціональних блоків обробки даних – C# та PL/SQL- діалект для написання збережених процедур для СУБД Oracle.

За результатами запровадження Автоматизованої системи реєстрації та перевірки документів моряків України перевірку дійсності документів моряків може бути здійснено

будь-яким користувачем в on-line режимі за допомогою інтерфейсу (рис. 6) на офіційному сайті Інспекції [20, 21].



Риунок 6 – Сторінка на офіційному сайті Інспекції з питань підготовки та дипломування моряків з доступом до відкритого вебсайту перевірки дійсності документів моряків України

Основні результати та висновки з перспективами. У статті надана інформація про прикладне вирішення завдання розробки та еволюційного запровадження Автоматизованої системи реєстрації та перевірки документів моряків України протягом останніх років з використанням сучасних інноваційних технологій та технічних рішень. Це дозволило виконати міжнародні зобов'язання України щодо виконання відповідних вимог Конвенції ПДНВ.

Крім того, відповідно до Правила I/10 Конвенції ПДНВ для можливості працевлаштування українських моряків на судна іноземних судновласників за останні роки Україна уклала меморандуми про визнання документів моряків з 53 країнами-сторонами Конвенції. Обов'язковою вимогою в тексті меморандумів є наявність процедури перевірки легітимності документів українських моряків в електронному вигляді. Без створення автоматизованої системи ДРДМУ відповідно до вимог Конвенції ПДНВ укладання таких меморандумів було б неможливим.

Практичним результатом запровадження автоматизованих систем ДРДМУ є виконання відповідних міжнародних вимог, що створює усі умови для безперешкодного працевлаштування українських моряків на судах іноземних судновласників в усьому світі.

В якості перспектив для розширення функціонала ДРДМУ, на погляд авторів, вважається за можливе вносити до БД також фотографії власників документів в електронному вигляді (які на цей час є рекомендованими), об'єднати бази даних щодо кваліфікаційних документів моряків та посвідчень особи моряка, а також запровадити окрему підсистему реєстрації медичних сертифікатів моряків. Але для цього необхідні управлінські рішення Міністерства інфраструктури та Міністерства охорони здоров'я України відповідно.

Крім того, на погляд авторів, у недалекій перспективі, у зв'язку із розвитком комп'ютерних технологій, ІМО може додатково встановити перелік або обсяг даних стосовно документів моряків, які повинні вноситися до національних реєстрів.

Створення нових підсистем та клієнтських баз Системи, на погляд авторів, цілком реально завдяки запланованим під час створення Системи резервам можливості розширення функцій ДРДМУ та значного резерву обсягу вільної загальної ємності

накопичувача на жорсткому диску та оперативного запам'ятовувального пристрою сервера ДРДМУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. International Convention of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, as amended. London. International Maritime Organization. 2011. 356 p.
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 31.01.2001 № 83 «Про вдосконалення державного нагляду за станом підготовки та дипломування моряків».
3. Положення про Інспекцію з питань підготовки та дипломування моряків, затверджене наказом Міністерства транспорту України від 17.10.2001 № 693, зареєстроване в Міністерстві юстиції України 02.11.2001 за № 928/6119.
4. IMO Assembly Resolution A.892(21) adopted on 25 November 1999 «Unlawful practices associated with certificates of competency and endorsements» (Незаконна практика, пов'язана з професійними стандартними дипломами та підтвердженнями).
5. MSC/Circ.918 on 27 May 1999 «Guidance for port state control officers in respect of certificates of competency issued under the provisions of the STCW Convention» (Керівництво посадовим особам, що здійснюють контроль суден державою порту відносно дипломів, виданих відповідно до положень Конвенції ПДНВ).
6. Наказ Міністерства транспорту України від 24.12.2002 № 913 «Про затвердження програмного забезпечення по заповненню, другу та зберіганню в базі даних інформації про документи моряків, що засвідчують їх кваліфікацію».
7. Наказ Міністерства транспорту України від 15.02.2002 № 99 «Про організацію видачі документів, що засвідчують звання і кваліфікацію моряків».
8. Положення про введення єдиного Державного реєстру документів моряків, затверджене наказом Міністерства транспорту України № 3 від 08.01.2003 р. та зареєстроване в Міністерстві юстиції України 04.02.2003 р. за № 86/7407.
9. IMO MSC.78/Circ.1163 (12 to 21 May 2004) «Parties to the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), 1978, as amended, confirmed by the Maritime Safety Committee to have communicated information which demonstrates that full and complete effect is given to the relevant provisions of the Convention» (Перелік сторін Конвенції ПДНВ, підтверджений Комітетом з безпеки на морі, які надали підтверджений звіт, що демонструє повне виконання положень Конвенції).
10. International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974. – London. International Maritime Organization. – 2003. – 428 p.
11. The International Ship and Port Facility Security (ISPS) Code, 2002. – London. International Maritime Organization. – 2003. – 91 p.
12. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 30.10.2002 № 766 «Про затвердження Порядку заповнення і видачі Підтверджень, що засвідчують визнання дипломів», зареєстрований в Міністерстві юстиції України 19.11.2002 за № 906/7194.
13. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 26.11.2004 № 1046 «Про затвердження Технічного опису бланків документів моряків», зареєстрований в Міністерстві юстиції України 24.12.2004 за № 1641/10240.
14. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 13.10.2008 № 1245 «Про покладання обов'язків з підтвердження кваліфікації осіб, відповідальних за охорону суден, та видачу їм свідоцтв «Офіцер з охорони судна», зареєстрований в Міністерстві юстиції України 31.10.2008 за № 1064/15755.
15. Порядок роботи Державних кваліфікаційних комісій, затверджений наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 07.05.2007 № 377, зареєстрований в Міністерстві юстиції 23.05.2007 за № 529/13796.
16. Тихонов І. В. Развитие системы комплексной электронной навигации «e-Navigation» на мировом флоте в целях обеспечения безопасности судоходства /

І.В. Тихонов // «Водний транспорт» : збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту. – К. : КДАВТ, 2012. – Вип. 1 (13). – С. 121–129.

17. Тихонов И. В. Применение методики проведения диагностики и контроля индивидуального состояния судоводителя для гарантирования безопасности судовождения / Тихонов И.В. // Видання Азербайджанської державної морської академії – Баку : Азербайджанская ГМА, 2015. – Вип. № 1. – С. 124–130.

18. ДСТУ 3396.0-96 «Захист інформації. Технічний захист інформації. Основні положення».

19. Закон України «Про захист інформації в автоматизованих системах».

20. Електронний ресурс. – Режим доступу : <http://verification.itcs.org.ua/sidebar/Templates/Account?returnUrl=~2Fsidebar~2FTemplates~2FChangeUserInfo> .

21. Електронний ресурс. – Режим доступу : <http://itcs.org.ua/> .

REFERENCES

1. International Convention of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, as amended. (2011). London. International Maritime Organization. 356 p.

2. Cabinet of Ministers of Ukraine resolution № 83 dated 31.01.2001 «On improvement of state supervision of the state of training and certification of seamen».

3. Regulation on the Inspectorate for Training and Certification of Seafarers, approved by the order of Ministry of Transport of Ukraine № 693 dated 17.10.2001.

4. IMO Assembly Resolution A.892(21) adopted on 25 November 1999 «Unlawful practices associated with certificates of competency and endorsements».

5. MSC/Circ.918 on 27 May 1999 «Guidance for port state control officers in respect of certificates of competency issued under the provisions of the STCW Convention».

6. Order of the Ministry of Transport of Ukraine № 913 dated 24.12.2002 «On approval of software for filling up, printing and storing in the database information about seafarers' qualification documents».

7. Order of the Ministry of Transport of Ukraine No. 99 dated 15.02.2002 «On the organization of issuance of seafarers' qualification documents».

8. Regulation on the maintenance of a State Register of Seafarers' Documents, approved by the order of the Ministry of Transport of Ukraine № 3 dated 08.01.2003.

9. IMO MSC.78/Circ.1163 (12 to 21 May 2004) «Parties to the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), 1978, as amended, confirmed by the Maritime Safety Committee to have communicated information which demonstrates that full and complete effect is given to the relevant provisions of the Convention».

10. International Convention for the Safety of Life at Sea (2003) London. International Maritime Organization. 428 p.

11. The International Ship and Port Facility Security (ISPS) Code, 2002. (2003). London. International Maritime Organization. 91 p.

12. Order of the Ministry of Transport and Communications of Ukraine No. 766 dated 30.10.2002 «On approval of the Procedure for filing and issuance of Endorsements of recognition of Certificates».

13. Order of the Ministry of Transport and Communications of Ukraine No. 1046 dated 26.11.2004 «On Approval of the technical description of seafarers document forms».

14. Order of the Ministry of Transport and Communications of Ukraine No. 1245 dated 13.10.2008 «On the assignment of duties for the qualifications assessment of persons responsible for the security of ships, and issuing of certificates «Ship Security Officer».

15. Procedure of the State Qualification Commissions, approved by the order of the Ministry of Transport and Communications of Ukraine No. 377 dated 07.05.2007.

16. Tykhonov I. V. (2012). Development of the system of integrated electronic navigation «e-Navigation» on the world fleet for the purpose of ensuring the safety of navigation. *Water*

transport. Issue of scientific works of the Kiev State Academy of Water Transport. Kyiv : KSAWT, Issue 1 (13). 121–129.

17. Tykhonov I. V. (2015). Application of the methodic for diagnosing and monitoring the individual condition of navigators to ensure the safety of navigation. *Azerbaijan State Maritime Academy, Issue No. 1*. 124–130.

18. DSTU 3396.0-96 «Protection of information. Technical protection of information. General provisions».

19. Law of Ukraine «On protection of information in automated systems».

20. <http://verification.itcs.org.ua/sidebar/Templates/Account?returnUrl=~2Fsidebar~2FTemplates~2FChangeUserInfo>.

21. <http://itcs.org.ua/>.

Тихонов И. В., Днепровский Ф. С. СОЗДАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ И ПРОВЕРКИ ДОКУМЕНТОВ МОРЯКОВ УКРАИНЫ

В статье представлена информация о прикладном решении задачи разработки и эволюционного практического внедрения Автоматизированной системы регистрации и проверки документов моряков Украины в течение последних лет в соответствии с требованиями Конвенции ПДНВ с использованием современных инновационных технологий и технических решений. Приведены требования относительно программного и аппаратного обеспечения и технической безопасности, которые были выполнены при создании единого Государственного реестра документов моряков Украины и его структуры. Внедрение этого реестра позволяет осуществлять внесение данных о квалификационных документах моряков в единую национальную базу данных, а также оперативно представлять информацию всем заинтересованным сторонам и морским администрациям других стран, и судоходным компаниям, которые направляют запросы, связанные с возможностью работы украинских моряков на иностранных судах. Практическим результатом внедрения автоматизированных систем Государственного реестра документов моряков является выполнение международных требований, что создает все условия для беспрепятственного трудоустройства украинских моряков на суда иностранных судовладельцев во всём мире.

Ключевые слова: квалификация, база данных, реестр, легитимность документов, проверка действительности документов.

Tikhonov I. V., Dneprovsky F. S. CREATION AND PRACTICAL IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR REGISTRATION AND VERIFICATION OF UKRAINIAN SEAFARERS' DOCUMENTS

The article presents information on the applied solution of the task of development and evolutionary practical implementation of the Automated System for Registration and Verification of Ukrainian Seafarers' Documents in last years in accordance with the STCW Convention requirements with using of modern innovative technologies and technical solutions. The requirements for software and hardware and technical security that were fulfilled when creating a State Register of Ukrainian Seafarers' Documents and its structure are submitted. The implementation of this Register makes it possible to input data on seafarers' qualification documents in a national database, as well as to provide information promptly to all interested parties and Maritime administrations of other countries, and to shipping companies that send inquiries related to the possibility of Ukrainian seafarers working on foreign ships. The practical result of the successive implementation of automated systems of the Seafarers' Documents Register is the fulfillment of international requirements that all conditions for the unhindered employment of Ukrainian seafarers on foreign shipowners ships around the world are created.

Keywords: qualification, database, register, legitimacy of documents, validation of documents.

© Тихонов И. В., Днепровський Ф. С.

Статтю прийнято
до редакції 05.04.18

***РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА***

УДК 502.92

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАДАЧ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ УКРАИНЫ

Ткач Е. В., руководитель компании ТОВ АПК «Юпитер», г. Харьков, e-mail: tepliemorja@gmail.com;

Вошанова Ю. В., маркетолог компании ТОВ АПК «Юпитер», г. Харьков, e-mail: juliavoshanova19@gmail.com

Водные биоресурсы играют важную роль в жизнедеятельности и являются важнейшими факторами формирования продовольственной безопасности. На современном этапе обострились негативные явления глобального характера, которые не только тормозят социально-экономическое развитие общества, но и создают реальную угрозу для существования человечества. Экологическая ситуация в Украине стала крайне опасной. Поэтому проблема охраны водных ресурсов – одна из важнейших в Украине. Произошло резкое сокращение кормовых ресурсов, сократились объемы вылова рыбы, снизилась биопродуктивность речных и морских экосистем.

В связи со сложившимися условиями для рыбной отрасли Украины, необходимо: усиление направлений работ по охране и воспроизводству гидробиоресурсов; проведение рыбопродуктивно-мелиоративных и компенсационных мер, связанных с искусственным формированием ихтиофауны водоемов; воспроизводство водных живых ресурсов во внутренних водоемах и Азово-Черноморском бассейне; полномасштабное воспроизводство растительных водных ресурсов.

Ключевые слова: экология, экологическая деятельность, демография, демографическая ситуация, водные ресурсы, охрана биоресурсов.

Введение. Водные биоресурсы играют важную роль в жизнедеятельности человека и являются важнейшими факторами формирования продовольственной безопасности. В связи с устойчивым продолжающимся ростом численности населения земли растет и потребность в биоресурсах. Одновременно в связи с развитием и совершенствованием техники, технологий происходит все более интенсивное потребление биоресурсов, что приводит к количественному уменьшению их, и отображается на качественных и количественных показателях продовольственной безопасности [1]. Снижение этих показателей вызывает тревогу человечества за свое будущее.

В настоящее время состояние окружающей среды водных ресурсов Украины является достаточно сложным. Мониторинг окружающей среды и разработка методов предотвращения экологических опасностей является актуальной проблемой современности.

Целью работы является рассмотрение и анализ особенностей экологических задач водных ресурсов, экономического состояния Украины. Необходим также анализ состояния и главных особенностей современных экологических проблем, состояния охраны водных ресурсов Украины.

К необходимым задачам, требующим незамедлительно решения логично также отнести анализ и определение главных причин обострения кризиса в отношении «человек – природа»; определение факторов, которые могут привести к самоуничтожению самого человечества, и определение путей решения экологических проблем, связанных с охраной водных ресурсов [2].

Состояние экологических проблем водных ресурсов Украины. Сегодня во многих районах Земли из-за неконтролируемого состояния вопроса выбросов ядовитых газов и вредных веществ меняется состав атмосферного воздуха, становятся непригодными для жизни водные ресурсы морей, рек, озер, исчезли огромные площади лесов, множество животных и растений. Все это ставит на повестку дня проблемы, которые человек должен незамедлительно решать, пока еще не поздно. Разрушение природы и ее комплексов отражается на человеке и ставит на повестку дня существование жизни самого человека. Проблемы, возникающие в связи с вмешательством человека в природные процессы, нарушающие их равновесие, относятся к экологическим, поскольку именно экология

изучает закономерности взаимоотношений человека, животных, растений, микроорганизмов между собой и окружающей средой [3].

Решать экологические проблемы человечества можно только в результате совместной деятельности всех государств мира в этом направлении. Для этих целей сформирована сеть международных и государственных организаций, которые занимаются ими. Принято много международных соглашений по охране вод Мирового океана, суши, атмосферы, земных недр, растительности и животного мира, космического пространства. Невиданно активная и часто непродуманная деятельность человека, сопровождаемая уничтожением природных ресурсов и загрязнением окружающей среды, приводит к тому, что сейчас биосфера планеты находится в критическом состоянии, когда можно уже видеть результат будущей глобальной катастрофы [4].

Состояние планеты и надвигающийся глобальный кризис вызывает в последнее время обеспокоенность будущим человеческой цивилизации. Изменение сельскохозяйственных ландшафтов, уменьшение лесных ресурсов, вовлечение в сельскохозяйственный оборот все новых и новых территорий, истощение почв, возросшее количество химических соединений, циркулирующих в биосфере, вредят здоровью людей и всему живому – все это приводит к изменению состояния экосистем. Ранее их было значительно меньше и они не могли привести к радикальным последствиям. Но сейчас человечество в своей глобальной деятельности столкнулось с большим количеством глобальных экологических проблем, поэтому оно должно думать как разработать стратегию перехода общества на новый жизнеутверждающий этап эволюции. В Украине к тому же экологический кризис значительно углубился после аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 года. Эхо этой трагедии мы ощущаем до сих пор. Эти обстоятельства, а также сложные социально-экономические условия привели к резкому ухудшению состоянию здоровья населения и усилению негативного влияния на демографическую ситуацию.

Анализ последних исследований и публикаций. Решению названных ранее проблем посвящены многочисленные международные саммиты и конференции под эгидой ООН, а также научные труды многих известных иностранных и отечественных ученых, таких, как Нижний М. И., Данилишин Б., Геец В. М., Стойко В. С., Туница Ю. Ю., Харичков С. А., Шевчук В. Я., Данилко К. и многие другие.

Изложение основного материала. На современном этапе обострились негативные явления глобального характера, которые не только тормозят социально-экономическое развитие общества, но и создают реальную угрозу существованию самого человечества и биосферы в целом. Особенностью современного экологического кризиса является то, что техногенные воздействия сильно переплетаются с природными процессами, усиливаются или ослабляются ими. С другой стороны, и природные процессы (землетрясения, наводнения и т.п.) во многих случаях усиливаются техногенными факторами. От решения этих проблем зависит существование самой цивилизации и планеты. Наступает время, когда ученые и политики должны это понять и начать принимать активное экстренное участие в борьбе за сохранение и выживания мира. Выделяют четыре важнейших круга глобальных проблем: демографическая, экологическая, продовольственная и энергетическая [5].

Современная экологическая ситуация в Украине стала крайне опасной. Основные причины этого следующие: более устаревшие, чем в других странах, технологии производства на многих промышленных и сельскохозяйственных предприятиях, нерациональная структура промышленности, недостаточное как экологическое воспитание людей, так и низкий уровень их жизни и, как результат, их безразличное отношение к экологическим проблемам, недостаточное внимание к экологическим проблемам государственных организаций, а также проблемам охраны водных ресурсов [6].

Проблема охраны водных ресурсов – одна из важнейших проблем в Украине на сегодня. Особенно остро стоит вопрос обеспечения населения качественной питьевой

водой. Охрана водных ресурсов зависит прежде всего от продуманной и последовательной государственной политики, от того, какие меры будет принимать государство. Конечно самая главная причина, по которой, происходит загрязнение водных ресурсов – это устаревшее оборудование на большинстве предприятий, во многих случаях отсутствие очистных сооружений фильтров, для того чтобы загрязненные воды не попадали в окружающую среду. Очень часто даже если такое и есть, то оно не эффективно. Чтобы положение не стало катастрофическим, необходима эффективная система контроля за предприятиями в целях уменьшения количества вредных веществ, сбрасываемых в воды, ввод в производство новых, современных систем очистки вод. И, конечно, много зависит от психологии человечества, пока каждый человек не поймет, что и от него зависит сохранение водных ресурсов, рыбной отрасли и биосферы в целом. [7]. А это зависит от множества факторов, в том числе и повсеместно насаждаемой системы потребительского отношения, системы потребительства.

В рамках оценки экономического положения рассматривая состояние рыбной отрасли в Украине можно отметить, что рыбному хозяйству Украины, как составной части мирового рыбохозяйственного комплекса, свойственны не только все основные проблемы развития мировой аквакультуры, но и ряд проблем внутреннего характера, обусловивших его глубокий затяжной кризис (ограниченность материальных средств, генетического материала, кормов, капитала и доступа у ним; природные риски, связанные с контролем за водными ресурсами, заболеваниями объектов аквакультуры, их уничтожением хищниками, дефицит водных ресурсов). Для решения этих задач должны быть определены стратегические направления развития рыбного хозяйства Украины: охрана, воспроизводство и рациональное использование рыбных запасов в водоемах естественного происхождения, внедрения новейших ресурсов и энергосберегающих технологий производства рыбы в водоемах различного генезиса и целевого назначения. Значительное место отводится рыбоводным компенсационным мерам, связанным с искусственным формированием ихтиофауны водоемов. Отмечается, что государственная поддержка возрождения и развития рыбного хозяйства Украины, как стратегически значимой отрасли, должна стать одним из ключевых элементов механизма управления предприятиями отрасли [8].

Украина имеет наибольший в Европе потенциал для выращивания рыбы, к сожалению, пока не реализуемый, так как на объем производства приходится лишь 0, 1 % от мирового производства [8].

Необходимо отметить, что в Азово-Черноморском бассейне в результате антропогенного воздействия, интенсивного загрязнения произошло резкое сокращение объектов кормовых площадей, что отражается на способности к воспроизводству промышленно ценных рыб и других гидробионтов, резко сократились объемы их вылова, уменьшилась биопродуктивность и морских экосистем. Морские воды в этих районах содержат локальные загрязнения антропогенного происхождения по таким ингредиентам, как фосфаты, аммоний, нитраты, нефтепродукты, тяжелые металлы: железо, медь, цинк, свинец, марганец, молибден, ванадий.

Спрос на морское сырье по прогнозам USDA в мире возрастет $\approx$ на 30 %. Водные ресурсы Украины соответствуют 7 % площади всей территории, что является достаточно большим показателем среди европейских стран. Теоретически Украина могла бы стать значительным поставщиком в этой отрасли, но этого нет, пока производство рыбы составляет менее 0,1 % мирового показателя.

Потенциал Украины для ведения рыбного хозяйства ограничен и не используется на полную мощность. В 2016 г. экономические показатели предприятий рыбной отрасли составили всего 1.1 млн. грн., а могли бы во много раз больше. Отрасль находится в зоне глубокого кризиса, ресурсы используются неэффективно, а объёмы производства падают. И это все на фоне растущего импорта и нелегального вылова рыбы.

А перспективы могли бы быть интересны. В мире сейчас наблюдается глобальное сокращение рыбы в мировом океане и разведения её на фермах весьма популярно при минимальных затратах на ресурсы. Производственный цикл здесь 3–4 года, в то время как для животноводства он составляет более 10 лет. За 2016 г. в Украине официально производство рыбы составило 38,8 тыс. т., а в действительности вылавливают рыбы 250 тыс. т. и это не предел, учитывая большие площади пресноводных и морских территорий Украины, а пока Украина не входит в число стран, крупных перерабатывающих центров рыбной продукции.

Сейчас в Украине работают ≈ 140 перерабатывающих предприятий рыбной промышленности, 32 из которых государственные. Большинство работают на устаревшем оборудовании и находятся на стадии банкротства и ликвидации. Модернизация в отрасли здесь очень затратна и не выгодна производителям. Продукция в силу этого не лучшего качества и не отвечает мировым стандартам.

Большая надежда на частные рыбные хозяйства. Но этот рост идет очень медленно в том числе, из-за бюрократизации, а также незаконного вылова рыбы. Кроме того, немало проблем добавляют и браконьеры. В силу этого вылавливается ≈ 200.0 тыс. т. рыбы, а официально числится 88.4 тыс. т., значит мимо бюджета страны проходят 4.0 млрд. грн. в год. В отрасли также большая коррупция.

Выходом из такого состояния может быть организация рыбоохранных мер в рамках вылова, децентрализация и уменьшение количества обязательных законодательных норм, снижение арендной платы на земли под рыбные фермы, создание фонда поддержки рыбного хозяйства, снижение коррупционности в отрасли.

А в данный момент ресурсы Азовского моря практически уничтожены. Для воспроизводства и сохранения рыбных запасов необходимо прекратить промышленный вылов рыбы в водах Азова хотя бы на 5 лет. Это то минимальное время, когда море сможет возродить свой рыбный потенциал. Сейчас для вылова в Азове идут только тюлька, бычок и хамса, а ведь ещё не так давно Азовское море было самым продуктивным и характеризовалось богатыми рыбными запасами. Актуальными также на данный момент является состояние морских научных экспедиционных и антарктических исследований. На сегодняшний день в Украине нет ни одного современного научного судна, столь необходимого для проведения морских геолого-геофизических, гидробиологических, экологических и других исследований. Это обстоятельство также негативно отразилось как на общем уровне океанологических наук в Украине, так и на решении ряда актуальных прикладных проблем освоения природных ресурсов Азово-Черноморского бассейна [10, 11].

Выводы. Анализ показывает, что в связи со сложившимися условиями, приоритетными направлениями для рыбной отрасли Украины являются охрана и воспроизводство гидробиоресурсов, проведение рыбоводно-мелиоративных и компенсационных мер, связанных с искусственным формированием ихтиофауны водоемов. Так, в рамках бюджетной программы «Воспроизводство водных живых ресурсов во внутренних водоемах и Азово-Черноморском бассейне» основной мерой по улучшению промышленной обстановки на днепровских водохранилищах является полномасштабное воспроизводство растительноядных рыб.

В заключение можно также добавить, что окружающая среда представляет собой совокупность всех элементов, связанных с жизнедеятельностью человека. Именно среда представляет возможность для эволюции, для продления человеческого рода. Поэтому основной целью является ее защита, очистка и сохранение. Если этого не произойдет, то буквально за небольшое время планета превратится в место, непригодное для жизни и деятельности человека.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходаков В.Е. Природно-климатические факторы и социально-экономические системы / В.Е. Ходаков, Н.А. Соколова – Херсон : ХГМА, 2016. – 604 с.
2. Черкас А. Екологічні виклики сьогодення: які шляхи подолання? / А. Черкас [Електронний ресурс] // Free Voice Information Analysis Center – Режим доступу : <http://iac.org.ua/ekologichni-vikliki-sogodennya-yaki-shlyahi-podolannya>.
3. Могильная Л.Н. Современные экологические проблемы Украины при условии международной экономической интеграции.
4. Дробноход М.І. Гострі суперечності в системі «людина-навколишнє середовище» - головна проблема сучасності / М.І. Дробноход // Економічний часопис – XXI. – 2009. - № 1-2. 31-35.
5. Цікавинки про сміття [Електронний ресурс] // Кафедра екології Хмельницького національного університету. – Режим доступу : http://www.khnu.km.uq.root/kaf/ecology/NEWS_garbage.html Могильна Л.Н.
6. Викиди забруднюючих речовин та паркових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у 2014 році. Експрес-випуск. (23.03.2015р. № 74/0/06вн-) [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Державної служби статистики України. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/express/expes_u.html#106.
7. Бабаев М.В., Лугатин М.Ф., Удалов И.В. Исследования качества хоз-питьевых вод водозаборов Харьковской области // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов. / Сб. Науч. Трудов XII международной науч. технич. конф. // Под ред. С.В. Разметаева, В.Ф. Костенко, в 3-х томах. – Х., 2004. – с. 88-93.
8. Кожин И.В., Добровольский Р.Г. Устранение потерь воды при эксплуатации систем водоснабжения. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1988. – 348 с.
9. Петросов В.А. Водоснабжение Харькова. – Х. : Картель, 1998. – 40с.
10. Водне господарство в Україні / За ред. А.В. Яцика, В.М. Хорєва. – К.: Генеза, 2000. – 456с.
11. Стащук В.А. Екологічно-економічні основи басейнового управління водними ресурсами. – Дніпропетровськ: ВАТ Видавництво «Зоря», 2006. – 480с.

REFERENCES

1. Khodakov V.E. Prirodno-klimaticheskie faktorih i socialjno-ehkonomicheskie sistemih / V.E. Khodakov, N.A. Sokolova – Kherson : KhGMA, 2016. – 604 s.
2. Cherkas A. Ekologichni vikliki sjogodennya: yaki shlyakhi podolannya? / A. Cherkas [Elektronniyj resurs] // Free Voice Information Analysis Center – Rezhim dostupu : <http://iac.org.ua/ekologichni-vikliki-sogodennya-yaki-shlyahi-podolannya>.
3. Mogiljnaya L.N. Sovremenniye ehkologicheskie problemih Ukrainih pri uslovii mezhdunarodnoy ehkonomicheskoy integracii.
4. Drobnokhod M.I. Gostri superechnosti v sistemi «lyudina-navkolishne seredovithe» - golovna problema suchasnosti / M.I. Drobnokhod // Ekonomichniyj chasopis – KhKhI. – 2009. - № 1-2. 31-35.
5. Cikavinki pro smittya [Elektronniyj resurs] // Kafedra ekologii Khmeljnicjkogo nacionaljnogo Universitetu. – Rezhim dostupu : http://www.khnu.km.uq.root/kaf/ecology/NEWS_garbage.html Moliljna L.N.
6. Vikidi zabrudnyuchikh rechovin ta parkovikh gaziv u atmosferne povitrya vid stacionarnikh dzherel zabrudnennya u 2014 roci. Ekspres-vipusk. (23.03.2015r. № 74/0/06vn-) [Elektronniyj resurs] // Oficialjnij sayjt Derzhavnoi sluzhbi statistiki Ukraïni. – Rezhim dostupu: http://www.ukrstat.gov.ua/express/expes_u.html#106.
7. Babaev M.V., Lugatin M.F., Udalov I.V. Issledovaniya kachestva khoz-pitevihkh vod vodozaborov Kharjkovskoyj oblasti // Ehkologiya i zdorovje cheloveka. Okhrana vodnogo i

vozdushnogo basseynov. Utilizaciya otkhodov. / Sb. Nauch. Trudov XII mezhdunarodnoy nauch. tekhnich. konfe. // Pod red. S.V. Razmetaeva, V.F. Kostenko, v 3-kh tomakh. – Kh., 2004. – s. 88-93.

8. Kozhinov I.V., Dobrovoljskiy R.G. Ustranenie poterj vodih pri ehkspluatatsii sistem vodosnabzheniya. – 2-e zd., pererab. I dop. – M.: Stroyizdat, 1988. – 348 s.

9. Petrosov V.A. Vodosnabzhenie Kharjkova. – Kh. : Kartelj, 1998. – 40s.

10. Vodne gospodarstvo v Ukraїni / Za red. A.V. Yacika, V.M. Khoreva. – K.: Geneza, 2000. – 456s.

11. Stathuk V.A. Ekologichno-ekonomichni osnovi baseynovogo upravlinnya vodnimi resursami. – Dnipropetrovsk: VAT Vidavnictvo «Zorya», 2006. – 480s.

Ткач Є. В., Вошанова Ю. В. ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАДАЧ ОХОРОНИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

Водні біоресурси відіграють важливу роль у життєдіяльності та є найважливішими факторами формування продовольчої безпеки. На сучасному етапі загострилися негативні явища глобального характеру, що не тільки гальмують соціально-економічний розвиток суспільства, а й створюють реальну загрозу існуванню людства. Екологічна ситуація в Україні стала вкрай небезпечною. Тому проблема охорони водних ресурсів є однією з найважливіших в Україні. Сталось різке скорочення кормових ресурсів, скоротилися обсяги вилову риби, знизилася біопродуктивність річкових і морських екосистем.

У зв'язку з умовами, що склалися, для рибної галузі України необхідне: посилення напрямів робіт із охорони та відтворення гідробіоресурсів; проведення рибоводно-меліоративних і компенсаційних заходів, пов'язаних зі штучним формуванням іхтіофауни водойм; відтворення водних живих ресурсів у внутрішніх водоймах та Азово-Чорноморському басейні; повномасштабне відтворення рослинної фауни.

Ключові слова: екологія, екологічна діяльність, демографія, демографічна ситуація, водні ресурси, охорона біоресурсів.

Tkach E.V., Voshanova Y.V. SOME FEATURES OF TASKS OF WATER RESOURCES PROTECTION OF UKRAINE

Water bioresources play an important role in vital activity and are the most important factors in the formation of food security. At the present stage, got aggravated global character negative phenomena, which not only inhibit the socio-economic development of society, but also create a real threat to the existence of mankind. The environmental situation in Ukraine has become extremely dangerous. Therefore, the problem of water resources protection is one of the most important in Ukraine. There was a sharp reduction in feed resources, the volumes of fish catch decreased, and the bioproductivity of river and marine ecosystems has decreased. In connection with the current conditions for the fish branch of Ukraine, it is necessary: strengthening of work directions for the protection and reproduction of hydrobiological resources; conducting of fish-breeding-meliorative and compensation measures related to the artificial formation of ichthyofauna of water bodies; reproduction of aquatic living resources in inland water bodies and the Azov-Black Sea basin; full-scale reproduction of herbivorous fish.

Keywords: ecology, ecological activity, demography, demographic situation, water resources, protection of bioresources.

© Ткач Є. В., Вошанова Ю. В.

Статтю прийнято
до редакції 3.04.18

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

РАСЧЕТ АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО ДВИГАТЕЛЯ С ДВУХСЛОЙНЫМ РОТОРОМ

Голощанов С. С., к.т.н., доцент, доцент кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии, e-mail: goloscharov46@gmail.com;

Ищенко И. М., к.т.н., доцент, доцент кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии;

Тимофеев К. В., к.т.н., доцент, доцент кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии

Использование асинхронного электропривода на современных судах обуславливается его высокой надежностью, простотой в эксплуатации, высокими экономическими показателями. В то же время относительно невысокий пусковой момент и значительный пусковой ток затрудняют его применение в судовых энергетических системах и механизмах. Наиболее подходящими для указанных приводов являются асинхронные двигатели с улучшенными пусковыми характеристиками, которые можно разделить на две группы: двигатели, основанные на эффекте вытеснения тока в пазу ротора и двигатели на основе ферромагнитного ротора. В первой группе можно выделить глубокопазные и двигатели с двойной беличьей клеткой, широко применяемые в подъемных судовых механизмах. Ко второй группе относятся двигатели с ферромагнитными роторами: с массивным, массивным омедненным и с двухслойным ротором. Среди последних можно выделить двигатели с двухслойным ротором, которые удачно сочетают в себе высокие пусковые характеристики (большой пусковой момент и относительно невысокую кратность пускового тока) и хорошие рабочие характеристики в части к.п.д. и $\cos\varphi$, присущие асинхронным двигателям с короткозамкнутой клеткой. Предлагаемая методика расчета параметров двигателей с двухслойным ротором позволяет оптимизировать толщину каждого из слоев ротора, рассчитывать пусковые и рабочие характеристики.

Ключевые слова: двухслойный ротор, скин-эффект, пусковой момент, пусковой ток, скольжение.

Введение. Двигатели с двухслойным ротором [1, 2] относятся к двигателям с улучшенными пусковыми характеристиками [3, 4] и представляют собой обычный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, в котором для улучшения пусковых характеристик на ротор насажена массивная ферромагнитная гильза. При этом известно, что в случае использования массивного ротора все электромагнитные процессы, в том числе и вращающий момент, создаются в скин-слое ферромагнетика [5, 6, 7]. Несмотря на то, что вопросы теории и расчета асинхронных двигателей на основе массивного ферромагнитного ротора [8, 9, 10, 11] хорошо изучены, расчет двигателя, сочетающего в себе и короткозамкнутый и массивный ферромагнитный ротор, недостаточно освещен в современной литературе.

Актуальность. Многие электроприводы судового оборудования (брашпили, якорно-швартовые устройства, грузовые лебедки и т.п.) зачастую требуют от двигателей улучшенных пусковых характеристик. В то же время, в связи с кратковременным режимом работы, не обязательными являются высокие эксплуатационные параметры: к.п.д. и $\cos\varphi$. Этим требованиям отвечают асинхронные двигатели с двухслойными роторами, сочетающие в себе высокие пусковые и достаточно хорошие рабочие энергетические характеристики.

Целью статьи является разработка относительно простой и доступной методики расчета пусковых и рабочих характеристик короткозамкнутых двигателей с двухслойным ротором, дающая возможность оперативно оптимизировать толщину ферромагнитной гильзы для получения необходимых пусковых и рабочих характеристик.

Основная часть. Основные положения, положенные в основу расчета таких двигателей, следующие.

Известно [5, 6], что максимальная индукция находится на поверхности массивного ротора. При удалении от поверхности она убывает экспоненциально и на глубине Δ_c становится меньше в e раз. Эта глубина называется толщиной скин-слоя.

Согласно [6] толщина скин-слоя равна:

$$\Delta_c = c \sqrt{2 \frac{\varepsilon_0}{\omega \mu_m} \rho} = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_m f}},$$

где c – скорость света, ε_0 – диэлектрическая постоянная, $\omega = 2\pi f$, ρ – удельное сопротивление, f – линейная частота, μ_m – относительная магнитная проницаемость.

При достаточно большой частоте f толщина скин-слоя может быть очень малой. Из экспоненциального убывания плотности тока следует, что практически весь ток сосредоточен в слое толщиной в несколько Δ_c , так, уменьшение плотности тока в 100 раз происходит на глубине $\approx 4,6\Delta_c$, если общая толщина проводника многократно превышает толщину скин-слоя.

Также толщина скин-слоя зависит от частоты (скольжения) и пропорциональна $1/\sqrt{f}$ [11].

Поле в ферромагнитном роторе создает вращающий момент, значение которого можно определить по методике, изложенной в [8]. Если толщина массивного ферромагнетика ограничена толщиной гильзы, оставшееся поле проникает в короткозамкнутый ротор и создает момент, присущий обычной асинхронной машине. Таким образом, результирующий момент двухслойного двигателя определяется суммой двух составляющих: первой, обусловленной частью поля, «завязшей» в ферромагнитной гильзе и второй, оставшейся и проникнувшей в беличью клетку ротора. Поскольку момент двигателя пропорционален величине его потока, можно считать, что описанные составляющие поля определяют соответствующие составляющие результирующего момента двигателя.

По литературным данным [3] толщина скин-слоя в массивном ферромагнитном роторе при частоте 50 Гц (пусковой режим) составляет 1–3 мм. Примем толщину скин-слоя 2 мм и рассчитаем долю поля при пуске ($s = 1$), проникнувшего в беличью клетку при различных значениях толщины ферромагнитной гильзы (табл. 1).

Таблица 1 – Зависимость величины поля, проникнувшего в беличью клетку ротора, от толщины ферромагнитной гильзы

Толщина гильзы, мм	2	3	4	5	6
Величина поля, проникнувшего в клетку ротора, д.е.	0,368	0,223	0,135	0,082	0,05

Очевидно, что уже на этом этапе проектирования можно выбрать толщину гильзы. Так, например, при толщине гильзы 4 мм часть момента, обусловленная короткозамкнутой клеткой, составляет 13,5 %, остальные 86,5 % приходятся на долю массивной гильзы. На основании данных, приведенных в табл. 1, можно утверждать, что при толщине гильзы более 5 мм момент от короткозамкнутой клетки ничтожно мал и определяется, в основном, гильзой. Поэтому максимальная толщина гильзы должна составлять не более 5 мм.

Учитывая, что толщина скин-слоя в зависимости от скольжения определяется зависимостью $\Delta_c = 2/\sqrt{s}$, рассчитаем его для ряда скольжений (табл. 2).

Величина потока, проникнувшего в клетку ротора при толщине гильзы $\Delta = 3\text{ мм}$ определится как:

$$\Phi_p = \Phi_0 e^{-\frac{\Delta}{\Delta_c}} = \Phi_0 e^{-\frac{3}{\Delta_c}},$$

где Φ_0 – величина потока на поверхности ротора.

Тогда для того же ряда скольжений получаем (табл. 2).

Таблица 2 – Зависимость толщины скин-слоя и величины потока, проникнувшего в клетку ротора от скольжения

s	0,02	0,05	0,1	0,15	0,25	0,5	0,7	1
$\Delta_c = 2/\sqrt{s}$	14,1	8,94	6,32	5,16	4	2,83	2,39	2
Φ_p , д.е.	0,808	0,715	0,622	0,559	0,472	0,346	0,285	0,223

В приведенной таблице означает, что, например, при скольжении $s = 0,5$ момент двигателя обусловлен на 34,6 % клеткой ротора и на 65,4 % ферромагнитной гильзой. Очевидно, что при пуске будет, в основном, создавать вращающий момент гильза, а в рабочем режиме – беличья клетка.

Как известно [11], для массивного ротора приведенное значение активного сопротивления ротора в функции скольжения равно $r_2^1/\sqrt{s}$. При ограниченной толщине гильзы Δ этот параметр с учетом изменения скин-слоя при изменении скольжения определится как:

$$\frac{r_2^1}{\sqrt{s}} \left(1 - e^{-\frac{\Delta}{\Delta_c}} \right) = \frac{r_2^1}{\sqrt{s}} \left(1 - e^{-\frac{\Delta}{2}\sqrt{s}} \right),$$

с учетом того, что при $s = 1$ $\Delta = 2\text{ мм}$.

Исходя из изложенного, можно представить схему замещения двигателя с двухслойным ротором (рис. 1).

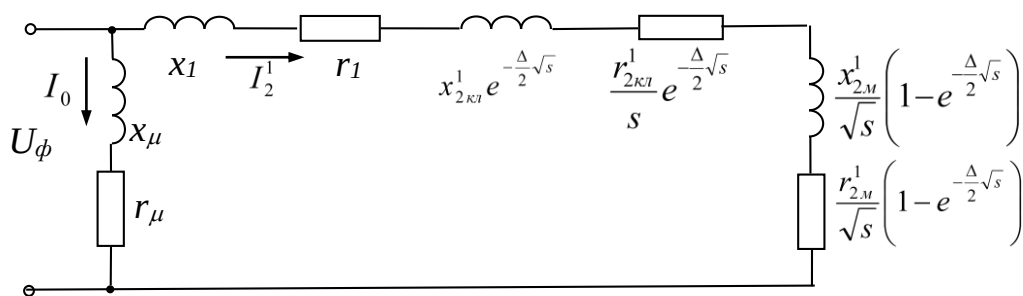


Рисунок 1 – Схема замещения асинхронного двигателя с двухслойным ротором:

X_1 и r_1 – индуктивное сопротивление рассеяния и активное сопротивление обмотки статора соответственно, $X_{2кл}^1$ и $r_{2кл}^1$ – приведенные индуктивное и активное сопротивление беличьей клетки соответственно, $X_{2м}^1$ и $r_{2м}^1$ – приведенные индуктивное и активное сопротивление гильзы соответственно, X_μ , r_μ – параметры намагничивающего контура, s – скольжение, Δ – толщина стенки ферромагнитной гильзы

Из схемы (рис. 1) видно, что при $\Delta \rightarrow 0$ параметры ротора, содержащие величины $X_{2м}^1$ и $r_{2м}^1$ обращаются в 0, а параметры, содержащие $X_{2кл}^1$ и $r_{2кл}^1$, вырождаются в параметры

обычного короткозамкнутого ротора. При $\Delta \rightarrow \infty$ цепь ротора будет содержать только величины, характеризующие массивный ротор, т.е. $x_{2,м}^1$ и $r_{2,м}^1$.

На основании изложенного, можно представить следующую методику расчета двигателя с двухслойным ротором.

На первом этапе по заданным параметрам и известным методикам рассчитывается асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, определяются основные его параметры X_1 , r_1 , $x_{2,кл}^1$, $r_{2,кл}^1$ и строятся его пусковые и рабочие характеристики.

После этого рассчитываются аналогичные характеристики двигателя с массивным ротором по методике, изложенной в [8].

Полученные характеристики складываются в долевым соотношении, определяемом толщиной гильзы согласно табл. 2.

В качестве примера рассмотрен расчет и построены характеристики двигателя с двухслойным ротором, выполненном на базе статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором со следующими параметрами:

- мощность двигателя с короткозамкнутой клеткой – 15 кВт;
- $x_1 = 0,725$ Ом, $r_1 = 0,402$ Ом, $x_{2,кл}^1 = 1,02$ Ом, $r_{2,кл}^1 = 0,196$ Ом;

Параметры массивного ротора: $x_{2,м}^1 = 2,81$ Ом, $r_{2,м}^1 = 4,68$ Ом; толщина гильзы – 3 мм.

Расчет механической характеристики двигателя $M_{кл} = f(s)$ с короткозамкнутой клеткой определялся по формуле:

$$M_{кл} = \frac{mU_{\phi}^2 \frac{r_{2,кл}^1}{s}}{\omega_0 \left[\left(x_1 + x_{2,кл}^1 \right)^2 + \left(r_1 + \frac{r_{2,кл}^1}{s} \right)^2 \right]},$$

где ω_0 – круговая скорость поля, $\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}$, p – число пар полюсов, m – число фаз,

$m = 3$, U_{ϕ} – фазное напряжение.

Расчет механической характеристики двигателя $M_{\varepsilon} = f(s)$ с массивным ротором определялся по формуле:

$$M_{\varepsilon} = \frac{mU_{\phi}^2 \frac{r_{2,\varepsilon}^1}{\sqrt{s}}}{\omega_0 \left[\left(x_1 + \frac{x_{2,\varepsilon}^1}{\sqrt{s}} \right)^2 + \left(r_1 + \frac{r_{2,\varepsilon}^1}{\sqrt{s}} \right)^2 \right]}.$$

Далее на основании того, что толщина гильзы равна 3 мм, по данным табл. 2 определяем результирующий момент M как сумму обоих моментов в соотношениях:

$$M = 0,223M_{кл} + 0,777M_{\varepsilon} - \text{для } s = 1,$$

$$M = 0,285M_{кл} + 0,715M_{\varepsilon} - \text{для } s = 0,7,$$

$$M = 0,346M_{кл} + 0,654M_{\varepsilon} - \text{для } s = 0,5$$

и т. д.

На рис. 2 представлены расчетные кривые моментов короткозамкнутой клетки 1, массивного ферромагнитного ротора 2 и результирующий момент двигателя с двухслойным ротором 3 (гильза 3 мм) и 4 (гильза 2 мм).

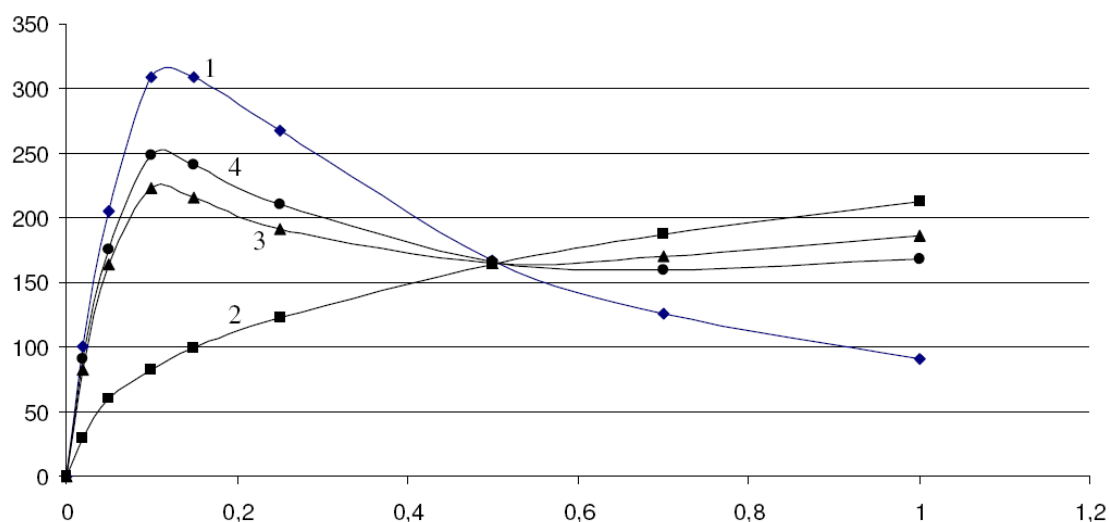


Рисунок 2 – Расчетные кривые моментов

Пусковой ток ($s = 1$) в случае применения обычного двигателя мощностью 15 кВт равен:

$$I_{n,кл} \approx \frac{U_{\phi}}{\sqrt{(x_1 + x_{2,кл}^1)^2 + (r_1 + r_{2,кл}^1)^2}} = 119 \text{ А при } U_{\phi} = 220 \text{ В.}$$

Пусковой ток двигателя с двухслойным ротора можно определить, исходя из схемы замещения (рис. 1):

$$I_n \approx \frac{U_{\phi}}{\sqrt{[x_1 + x_{2,кл}^1 e^{-\Delta/2} + x_{2,м}^1 (1 - e^{-\Delta/2})]^2 + [r_1 + r_2^1 e^{-\Delta/2} + r_{2,м}^1 (1 - e^{-\Delta/2})]^2}} = 42,7 \text{ А.}$$

При толщине гильзы 2 мм пусковой ток составляет 49 А.

Как видно из приведенных расчетов, применение двухслойного ротора позволяет существенно повысить пусковой момент (почти в 2 раза) при одновременном трехкратном снижении пускового тока, что важно для судовой энергетики, работающей в условиях ограниченной мощности.

Выводы. Предложенная методика позволяет повысить точность расчета параметров и характеристик асинхронных машин с двухслойными роторами, сократить объем вычислений с учетом всех существующих физических явлений и факторов, присутствующих в двухслойных роторах, определить оптимальные материалы и толщину ферромагнитной гильзы. В перспективе становится возможным разработка методики расчета асинхронных двигателей со значительно уменьшенным моментом инерции на базе ротора с омедненным ферромагнитным стаканом для подъёмных механизмов, работающих в условиях частого пуска и реверса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вербовой А.П. Экспериментальные исследования асинхронных двигателей с массивными ферромагнитными роторами / А. П. Вербовой, П. Ф. Вербовой, А.М Съянов. НАН Украины. Ин-т электродинамики; №793. – К., 1996.
2. Применение АД с улучшенными пусковыми характеристиками. Режим доступа: <http://www.radioingener.ru/primenenie-ad-s-uluchshennymi-puskovymi-kharakteristikami/#more-5188> – Назва з екрана
3. Постников И. М. Проектирование электрических машин / И. М. Постников. – К. : Гос. изд-во техн. литер. УССР. –1960. – 910 с.

4. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. Учебник для вузов. / И. П. Копылов, Ф. А. Горяинов, Б. К. Клоков – М.: Энергия, 1993. – 384 с.
5. Скин-эффект Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>. Назва з екрана
6. Носов Г. В. параметры скин-слоя массивных ферромагнитных проводников в установившемся режиме при синусоидальном электромагнитном поле / Г. В. Носов, Д. Ю. Косилова // Современные проблемы науки и образования. – Томск : Томский политехнический институт. 2013. – №3. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id>. Назва з екрана
7. Нейман Л. Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах / Л. Р. Нейман. – М. – Л. : Госэнергоиздат, 1949. – 189 с.
8. Ищенко И.М. Расчет асинхронного двигателя с омедненным массивным ферромагнитным ротором / И. М. Ищенко, С. С. Голощапов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія. 2017. – С. 121–125.
9. Лищенко А.И. Асинхронные машины с массивным ферромагнитным ротором / А.И. Лищенко, В.А. Лесник. – К.: Наукова думка, 1984. – 168 с.
10. Съянов А.М. Классификация асинхронных двигателей по конструкции массивных ферромагнитных роторов / А. М. Съянов, А. П. Вербовой, А.М НАН Украины. Ин-т электродинамики. Режим доступа : <http://www.electrician.com.ua/posts/669> – Назва з екрана
11. Куцевалов В.М. Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивными роторами / В. М. Куцевалов. – М. – Л. : Энергия, 1966. – 304 с.

REFERENCES

1. Verbovoj A.P. Experimental studies of asynchronous motors with massive ferromagnetic rotors / A.P. Verbova, P.F. Verbova, A.M. Syanov. NAS of Ukraine. Institute of Electrodynamics; No. 793. - K., 1996.
2. Application of AD with improved starting characteristics.
3. Access mode: <http://www.radioingener.ru/primenenie-ad-su-uluchshennymi-puskovymi-xarakteristikami/#more-5188> – Screen name
4. Postnikov IM Designing of electrical machines / IM Postnikov. - K.: Gos. publishing house in technical. letter. USSR. -1960. - 910 sec.
5. Kopylov I.P. Designing of electrical machines. Textbook for high schools. / I.P. Kopylov, F.A. Goryainov, B.K. Klovov - M.: Energia, 1993. - 384 p.
6. Skin effect Access mode: <https://en.wikipedia.org/wiki>. The name of the screen
7. Nosov G.V. parameters of the skin layer of massive ferromagnetic conductors in steady state under a sinusoidal electromagnetic field / G.V. Nosov, D.Yu., Kosilova // Modern problems of science and education. Tomsk: Tomsk Polytechnic Institute. 2013. - №3. Access mode: <http://www.science-education.ru/en/article/view?id>. The name of the screen
8. Neiman L.R. Surface effect in ferromagnetic bodies / LR Neiman. - M. - L.: State Power Engineering Publishing House, 1949. - 189 p.
9. Ishchenko IM Calculation of an asynchronous motor with copper-plated massive ferromagnetic rotor. Ishchenko, S.S. Holoschapov // Scientific Herald of Kherson State Maritime Academy: science journal. - Kherson: Kherson State Power Academy. 2017. - P. 121-125.
10. Lishchenko A.I. Asynchronous machines with massive ferromagnetic rotor / A.I. Lishchenko, V.A. Forester. - K.: Naukova dumka, 1984. - 168 with.
11. AM Syanov. Classification of asynchronous motors by the design of massive ferromagnetic rotors / AM. Syanov, A.P. Verbova, A.M. NAS of Ukraine. Institute of Electrodynamics. Access mode: <http://www.electrician.com.ua/posts/669> - The name of the screen
12. Kutsevalov V.M. Questions of the theory and calculation of asynchronous machines with massive rotors / V.M. Kutsevalov. - M. - L.: Energia, 1966. 304 p

Голощачов С. С., Іщенко І. М., Тимофєєв К. В. РОЗРАХУНОК АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМКНЕНОГО ДВИГУНА ІЗ ДВОШАРОВИМ РОТОРОМ

Використання асинхронного електропривода на сучасних судах зумовлюється його високою надійністю, простотою в експлуатації, високими економічними показниками. У той же час відносно невисокий пусковий момент і значний пусковий струм ускладнює його застосування в судових енергетичних системах і механізмах. Найбільш вдалим для зазначених приводів є асинхронні двигуни з поліпшеними пусковими характеристиками, які можна розділити на дві групи: двигуни, засновані на ефекті витиснення струму в пазу ротора й двигуни на основі феромагнітного ротора. У першій групі можна виділити глибокопазні й двигуни з подвійною білячою кліткою, широко застосовувані в підйомних судових механізмах. До другої групи відносяться двигуни з феромагнітними роторами: з масивним, масивним обмідненим і із двошаровим ротором. Серед останніх можна виділити двигуни із двошаровим ротором, які вдало поєднують у собі високі пускові характеристики (великий пусковий момент і відносно невисоку кратність пускового струму) і гарні робочі характеристики в частині к.к.д. і $\cos \phi$, властиві асинхронним двигунам з короткозамкненою кліткою. Пропонована методика розрахунків параметрів двигунів із двошаровим ротором дозволяє оптимізувати товщину кожного із шарів ротора, розраховувати пускові й робочі характеристики.

Ключові слова: двошаровий ротор, скін-ефект, пусковий момент, пусковий струм, ковзання.

Goloshchapov S.S., Ischenko I. M., Timofeev K. V. CALCULATION OF ASYNCHRONOUS SHORT-CONTAINED ENGINE WITH TWO-ROLLER ROTOR

The use of asynchronous electric drive on modern ships is due to its high reliability, ease of use, high economic performance. At the same time, a relatively low starting torque and a significant starting current makes it difficult to use it in ship's power systems and mechanisms. The most suitable for these drives are asynchronous engines with improved start characteristics, which can be divided into two groups: engines based on the effect of squeezing the current into the groove of the rotor and engines based on the ferromagnetic rotor. In the first group it is possible to allocate deep-and-double engines and engines with a double whitening cage, widely used in lifting ship mechanisms. The second group includes engines with ferromagnetic rotors: with a massive, massive membrane and a two-layer rotor. Among the latter one can distinguish engines with a two-layer rotor, which successfully combine high starting characteristics (high torque and relatively low multiplicity of starting current) and good performance in the part of efficiency and power factor, characteristic of asynchronous motors with a short-circuited cell. The proposed method of calculating the parameters of engines with a two-layer rotor allows to optimize the thickness of each of the rotor's layers, to calculate the starting and performance characteristics.

Keywords: two-layer rotor, skin effect, starting torque, starting current, slip.

© Голощачов С. С., Іщенко І. М., Тимофєєв К. В.

Статтю прийнято
до редакції 5.05.18

УДК 629.439

РЕДУКЦИОННЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ УПРАВЛЕНИЙ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА

Поляков В. А., к.т.н., старший научный сотрудник Института транспортных систем и технологий НАН Украины, г. Днепр, ORCID: 0000-0002-4957-8028;

Хачапуридзе Н. М., к.т.н., с.н.с., заместитель директора по научной работе Института транспортных систем и технологий НАН Украины, г. Днепр, ORCID 0000-0003-0682-6068

Тяговая (ТС), левитационная (ЛС) и направляющая (НС) силы магнитолевитирующего поезда (МЛП) являются его основными управлениями. Они возникают в процессе полевых взаимодействий сверхпроводящих подвижных (СПК), трёхфазных неподвижных (ТНК), а также дискретных путевых (ДПК) контуров. Целью настоящего исследования является редуцирование описания упомянутых управлений. **Методика.** Одним из наиболее универсальных инструментов исследования электромеханических процессов является их математическое и, в частности, компьютерное моделирование. Преимущества этого инструмента делают ещё более важной селективность выбора методики проведения исследования. Особую актуальность это приобретает по отношению к столь большим и сложным системам, какими являются МЛП. Поэтому особое внимание в работе уделено синтезу исследовательской парадигмы. **Результаты.** СПК движутся относительно ТНК и ДПК. При традиционном подходе к рассмотрению исследуемых процессов, это приводит к нестационарности описывающих их моделей и, как следствие, – к существенному затруднению изучения динамики МЛП. Предлагаемый редуциционный подход к моделированию позволяет нивелировать указанное затруднение. **Научная новизна.** Приоритетность создания такой парадигмы составляет научную новизну исследования. **Практическая значимость.** Основным проявлением практической значимости работы является возможность, в случае использования её результатов, существенного повышения эффективности динамических исследований МЛП при одновременном снижении их ресурсоёмкости.

Ключевые слова: магнитолевитирующий поезд; математическое моделирование; редуциционная исследовательская парадигма.

Введение. Предназначением транспортного комплекса с магнитолевитирующими поездами (МЛП) является осуществление перевозочного процесса. Для эффективного и безопасного выполнения этой функции движение поезда должно гарантированно обладать рядом свойств, являющихся его целями. Их достижение, однако, обычно затруднено рядом факторов, основным из которых является непредсказуемость естественных возмущений. Чтобы результирующее движение МЛП было желаемым, он подвергается искусственным управлениям. Обычно, это – тяговые (ТС), левитационные (ЛС) и направляющие (НС) силы [1].

Задача работы. Рациональный способ создания таких сил – использование линейного синхронного двигателя (ЛСД), состоящего из сверхпроводящих подвижных (СПК) и трёхфазных неподвижных (ТНК) контуров, в сочетании с неподвижными же дискретными путевыми контурами (ДПК) [1]. Упомянутые усилия – это результат электромеханического энергопреобразования при взаимодействии полей токов СПК и ТНК, а также ДПК. Описывающие динамику возникновения таких управлений соотношения при традиционном способе рассмотрения [1] являются не стационарными, что существенно затрудняет их исследования. Поэтому весьма актуальным является создание парадигмы, позволяющей редуцировать моделирование упомянутых управлений. Синтез такой парадигмы является основной задачей настоящей работы.

Методика работы. Паттерном ТС, ЛС или НС является взаимодействие тока элемента СПК с полем токов ТНК или ДПК. Любое такое взаимодействие может быть описано выражением закона Ампера [2]:

$$f_{\lambda\chi} = l_{\lambda\chi} \cdot i_s^{\lambda\chi} \cdot B_{\lambda\chi} \cdot \sin \alpha_{\lambda\chi}, \quad (1)$$

где $f_{\lambda\chi}$ – сила, действующая на χ -й элемент λ -го СПК; $l_{\lambda\chi}$, $i_s^{\lambda\chi}$, $B_{\lambda\chi}$, $\alpha_{\lambda\chi}$ – длина элемента,

ток в нём, индукция поля, в котором он находится, а также угол между $\overline{i_s^{\lambda\chi}}$ и $\overline{B_{\lambda\chi}}$.

Расчётные схемы СПК, ТНК и ДПК целесообразно принять, соответственно, в виде набора гальванически не связанных токопроводящих прямоугольных рамок, соответствующих контурам криомодулей, трёхфазной электрической сети, каждой фазе которой соответствует отдельный контур, а также пар идентичных прямоугольных катушек, соединённых согласно нуль-поточной схеме, как между собой, так и с парой катушек, расположенных соосно, но на иной стороне поезда [1]. В произвольный момент времени ТС, ЛС или НС определимы как векторные суммы величин $\overline{f_{\lambda\chi}} \forall \lambda \in [1, N], \chi \in [1, 4]$, каждая из которых – это результат взаимодействия поля тока одного из элементов СПК с полем токов ТНК или ДПК. В последнем выражении N – число криомодулей МЛП.

Взаимодействие полей токов СПК с полями ТНК, или ДПК может быть описано уравнениями второго закона Кирхгофа [2], которым в инерциальной системе отсчёта $Q\varepsilon^\rho \forall \rho \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}]$ (n_{fc}, n_{lc} – номера первого и последнего из рассматриваемых контуров), может быть придан вид:

$$u_\rho = L_{\rho\rho} \cdot \frac{d}{dt} i^\rho + L_{\rho\mu} \cdot \frac{d}{dt} i^\mu + r_\rho \cdot i^\rho \quad \forall \rho, \mu \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}], \quad (2)$$

где $u_\rho, L_{\rho\rho}, L_{\rho\mu}, r_\rho \forall \rho, \mu \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}]$ – результирующие э. д. с., собственные и взаимные индуктивности, а также омические сопротивления контуров; $i^\rho, i^\mu \forall \rho, \mu \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}]$ – токи в них; t – текущее время.

Благодаря принятым конструкционным мерам [1], значения токов $\overline{i_s^{\lambda\chi}} \forall \lambda \in [1, K]$, изменяются достаточно медленно и на интервалах, соизмеримых со временем наблюдения движения поезда, могут считаться равными между собой и постоянными:

$$\overline{i_s^{\lambda\chi}} = i_s = const \quad \forall \lambda \in [1, N]. \quad (3)$$

СПК движутся относительно ТНК и ДПК. Поэтому многие из величин $L_{\rho\rho}, L_{\rho\mu} \forall \rho, \mu \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}]$ имеют циклически изменяющиеся во времени значения. Это, в свою очередь, приводит к нестационарности коэффициентов уравнений (2) и, в конечном итоге, существенно затрудняет исследование динамики системы [3]. С целью устранения указанного недостатка, реализацию слагающих ТС, ЛС и НС МЛП следует исследовать относительно координатных систем, в каждой из которых рассматриваемый СПК и учитываемые во взаимодействии с ним ТНК, а также ДПК условно взаимно неподвижны. В таком качестве удобнее всего принять отсчётные системы $C_\lambda \eta^\mu \forall \lambda \in [1, N], \mu \in [1, 3]$, каждая из которых жёстко связана с λ -м СПК. Инерциальными $C_\lambda \eta^\mu \forall \lambda \in [1, N], \mu \in [1, 3]$, в общем случае, не являются. В то же время весьма желательно [4], чтобы уравнения, описывающие динамику электромагнитного компонента взаимодействия СПК с ТНК и ДПК, имели тензорный характер. Такие уравнения могут быть получены [5] из равенств типа (2) путём замены в них локальных производных $\frac{d}{dt}$ абсолютными $\frac{D}{dt}$, а также перехода к координатам $\eta_\lambda^\mu \forall \lambda \in [1, N], \mu \in [1, 3]$. Соотношение между упомянутыми производными, как известно, имеет вид [5]:

$$\frac{D}{dt} \eta_\alpha^\mu = \frac{d}{dt} \eta_\alpha^\mu + e_{\mu\alpha\nu} \cdot \omega_\alpha \cdot \eta_\alpha^\nu \quad \forall \mu, \nu \in [1, 3], \quad (4)$$

где $e_{\mu\alpha\nu} \forall \mu, \nu \in [1, 3], \omega_\alpha$ – символ Леви-Чивита, а также вектор угловой скорости вращения $C_\alpha \eta^\mu \forall \mu \in [1, 3]$.

После указанной замены соотношения, полученные из (2), приобретают тензорный характер. Поэтому, в частности, их форма становится инвариантной по отношению к координатам, в которых они записаны. Переход же к координатам $\eta^\mu \forall \mu \in [1, 3]$ осуществим согласно выражениям:

$$\eta_\alpha^\mu = g_\rho^\mu \cdot \varepsilon^\rho \quad \forall \rho \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}]; \mu \in [1, 3], \quad (5)$$

где g_ρ^μ – матрица преобразования координат:

$$g_\rho^\mu = \frac{\partial \eta_\alpha^\mu}{\partial \varepsilon^\rho} \quad \forall \rho \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}]; \mu \in [1, 3]. \quad (6)$$

На оси $\eta_\alpha^\mu \forall \mu \in [1, 3]$ и $\varepsilon^\rho \forall \rho \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}]$ могут проецироваться любые векторные величины, характеризующие электродинамику взаимодействия СПК с ТНК, а также ДПК в системах отсчёта соответственно $C_\alpha \eta^\mu \forall \mu \in [1, 3]$ и $Q \varepsilon^\rho \forall \rho \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}]$. В частности, ими могут быть векторы токов, э. д. с. и индукции полей.

Выражения для связей вида:

$$\eta_\alpha^\mu = \eta_\alpha^\mu(\varepsilon^\rho) \quad \forall \rho \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}]; \mu \in [1, 3], \quad (7)$$

могут быть получены исходя из того, что [3] в процессе, описываемого координатного преобразования, его инвариантами являются амплитуды токов в рассматриваемых контурах, а также их э. д. с.

С помощью же матрицы:

$$g_\mu^\rho = \frac{\partial \varepsilon^\rho}{\partial \eta_\alpha^\mu} = (g_\rho^\mu)^T \quad \forall \rho \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}]; \mu \in [1, 3], \quad (8)$$

осуществимо обратное преобразование:

$$\varepsilon^\rho = g_\mu^\rho \cdot \eta_\alpha^\mu \quad \forall \rho \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}]; \mu \in [1, 3]. \quad (9)$$

После указанных преобразований, уравнения, полученные из (2) путём их трансформации в триэдр $C_\alpha \eta^\mu \forall \mu \in [1, 3]$ с использованием соотношений (4) и (5), приобретают вид:

$$u_\rho = L_{\rho\rho} \cdot \left(\frac{d}{dt} i^\rho + e_{\rho\alpha\nu} \cdot \omega_\alpha \cdot i^\nu \right) + L_{\rho\mu} \cdot \left(\frac{d}{dt} i^\mu + e_{\mu\alpha\theta} \cdot \omega_\alpha \cdot i^\theta \right) + r_\rho \cdot i^\rho \quad \forall \rho, \nu, \mu, \theta \in [1, 3]. \quad (10)$$

Эти уравнения являются тензорными и стационарными, что радикально упрощает моделирование ТС, ЛС и НС МЛП. Они описывают токовую динамику тягового и левитационно-направляющего узлов МЛП в координатах $i^\mu \forall \mu \in [1, 3]$. После их (как правило – численного) разрешения относительно этих переменных, последние, с использованием соотношений (9), могут быть преобразованы в координаты $i^\rho \forall \rho \in [\overline{n_{fc}}, \overline{n_{lc}}]$, значения которых определяют реальные токи в цепях ТНК и ДПК.

Результаты работы. Редуцированы уравнения электродинамики тягового и левитационно-направляющего узлов МЛП, являющиеся ключевыми при моделировании его основных управляющих воздействий.

Научная новизна работы и её практическая значимость. Научную новизну исследования составляет приоритетность создания редуцированной парадигмы моделирования управлений МЛП. Основным проявлением практической значимости работы является возможность, в случае использования её результатов, существенного повышения эффективности динамических исследований МЛП при одновременном снижении их ресурсоёмкости.

Выводы. Использование созданной редуцированной парадигмы моделирования ТС, ЛС и НС МЛП позволит существенно облегчить и упростить этот процесс. Этим будет повышена эффективность динамических исследований поезда и снижена их ресурсоёмкость.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев, В. И. Матин, С. А. Сергеев – К. : Наук. думка, 2001. – 479 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи / Л. А. Бессонов – М. : Высш. шк., 1996. – 578 с.
3. Электрические машины (специальный курс) / Г. А. Сипайлов, Е. В. Кононенко, К. А. Хорьков – М.: Высш. шк., 1987. – 287 с.
4. Крон Г. Применение тензорного анализа в электротехнике / Г. Крон – М., Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 275 с.
5. Рашевский П. К. Риманова геометрия и тензорный анализ / П. К. Рашевский – М.: Наука, 1967. – 644 с.

REFERENCES

1. Dzenzerskij V. A., Omel'janenko V. I., Vasil'ev S. V., V. I. Matin V. I., Sergeev S. A. (2001) Vysokoskorostnoj magnitnyj transport s jelektrodinamicheskoy levitaciej. Kyev : Nauk. dumka.
2. Bessonov L. A. (1996) Teoreticheskie osnovy jelektrotehniki: Jelektricheskie cepi. Moscow : Vish. shk.
3. Sipajlov G. A, Kononenko E. V. & Hor'kov K. A. (1987) Jelektricheskie mashiny (special'nyj kurs). Moscow : Vish. shk.
4. Kron G. (1955) Primenenie tenzornogo analiza v jelektrotehnike. Moscow, Leningrad: Gosenergoizdat.
5. Rashevskij P. K. (1967) Rimanova geometrija i tenzornyj analiz. Moscow : Nauka.

Поляков В. О., Хачапуридзе М. М. РЕДУКЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІНЬ МАГНІТОЛЕВІТУЮЧОГО ПОЇЗДА

Тягова (ТС), левітаційна (ЛС) і спрямовуюча (СС) сили магнітолевітуючого поїзда (МЛП) є його основними управліннями. Вони виникають у процесі польових взаємодій надпровідних рухомих (НРК), трифазних нерухомих (ТНК), а також дискретних колійних (ДКК) контурів. Метою даного дослідження є редукування опису згаданих управлінь. **Методика.** Одним з найбільш універсальних інструментів дослідження електромеханічних процесів є їхнє математичне і, зокрема, комп'ютерне моделювання. Переваги цього інструменту роблять ще більш важливою селективність вибору методики проведення дослідження. Особливої актуальності це набуває по відношенню до настільки великих і складних систем, якими є МЛП. Тому особливу увагу в роботі приділено синтезу дослідницької парадигми. **Результати.** НРК рухаються щодо ТНК та ДКК. При традиційному підході до розгляду досліджуваних процесів це призводить до нестационарності моделей, які їх описують і, як наслідок, – до істотного ускладнення вивчення динаміки МЛП. Пропонований редуційний підхід до моделювання дозволяє нівелювати вказане ускладнення. **Наукова новизна.** Пріоритетність створення такої парадигми становить наукову новизну дослідження. **Практична значущість.** Основним проявом практичної значущості роботи є можливість, у разі використання її результатів, істотного підвищення ефективності динамічних досліджень МЛП при одночасному зниженні їхньої ресурсоємності.

Ключові слова: магнітолевітуючий поїзд; математичне моделювання; редуційна дослідницька парадигма.

Polyakov V.O., Khachapuridze M.M. SIMPLIFIED APPROACH TO SIMULATION OF AN MAGNETICALLY LEVITATED TRAIN'S CONTROLES

Traction (TF), levitation (LF) and guide (GF) forces of the magnetically levitated train (MLT) are it's main controls. They arise in the field interaction process of the superconducting mobile's (SMC), three-phase stationary's (TSC) and discrete contour's on the way (DWC). The purpose of this study is to reduce the description of the mentioned controls. **Methodology.** One of the most universal tools for electromechanical processes studying is their mathematical and, in particular, computer modeling. Advantages of this tool make even more important the selectivity of research's carrying out technique choosing. This is particularly relevant in relation to such large and complex systems as MLT. Therefore, special attention in the study is paid to the synthesis of the research paradigm. **Results.** SMC are moving relative to TSC and DWC. With the traditional approach to the research of the processes under study, this leads to the nonstationarity of the models that describe them and, as a consequence, - to a significant difficulty in studying the dynamics of MLT. The proposed simplifying approach to modeling makes it possible to eliminate this difficulty. **Scientific novelty.** The priority of creating such a paradigm is the scientific novelty of the research. **Practical significance.** The main manifestation of the practical significance of the work is the possibility, in the case of using its results, to significantly increase the effectiveness of dynamic MLT research while reducing their resource intensity.

Key words: magnetically levitated train; math modeling; simplifying research paradigm.

© Поляков В. О., Хачапуридзе М. М.

Статтю прийнято
до редакції 28.12.17

ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ПОСАДОК ТА РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЗАКРІПЛЕННЯ СТАЛЕВИХ КАНАТІВ

Проценко В. О., к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій Херсонської державної морської академії, e-mail: eseu@ukr.net

У статті виконаний аналіз напруженого стану пальців затискних механізмів для закріплення сталевих канатів. Розроблена модель передачі ними навантаження з урахуванням контактної піддатливості стику втулки та фланця. Доведено, що встановлення пальця у втулку із зазором дозволяє знизити напруження згину порівняно із варіантом де він відсутній. Отримано вирази для розрахунку зазора посадки та обґрунтовано вибір посадок. Показано, що контактна деформація стику втулки та фланця призводить до перерозподілу напружень зрізу каната. Цей перерозподіл призводить до навантаження пальців згинальним моментом та виникнення напружень згину, величина яких, проте, у 20 разів менша ніж при відсутності зазору між пальцем та втулкою. Показано, що у випадку складання з'єднання із зазором, розрахунок пальців в нарізевій частині можна виконувати на сумісну дію розтягу та кручення за еквівалентними напруженнями, що на 30 % перевищують напруження розтягу.

Ключові слова: муфта, канат, затиск, зазор, посадка

Вступ. Жорсткість стиків деталей машин має суттєвий вплив на розподіл навантаження між ними і потребує її врахування при розробленні остаточних рекомендацій щодо їх конструювання та розрахунку [1].

Аналіз стану проблеми та постановка задачі. У випадку затискних механізмів для канатів контактна жорсткість стиків може мати вплив на розподіл навантаження від перекидного моменту $M_H = F_H l_p$ (рис. 1) між власне стиком втулки і базовою деталлю та пальцем, який може в такому випадку сприймати згинальні напруження, особливо у випадку відсутності зазора між пальцем та втулкою. З огляду на це, раціональне конструювання затискних механізмів повинно включати заходи щодо розвантаження пальця від згину за рахунок контактної деформації стику, що потребує обґрунтованого вибору посадки пальця у втулці. Вивчення вказаної проблеми та обґрунтування вибору цієї посадки становить задачу даної роботи.

Виклад основного матеріалу. Під час роботи затискного механізму та передачі ним натягу каната F_H на базову деталь, під дією моменту M_H відбуватиметься контактна деформація стику втулки та базової деталі, що спричинить поворот втулки на кут θ . У випадку, коли між пальцем та втулкою буде відсутній зазор δ_2 , відбуватиметься контакт пальця та втулки у точці C і палець разом із втулкою отримає кутову деформацію θ та, крім напружень розтягу від сили затягування $F_{зам}$ (переріз IV-IV) та напружень кручення від моменту тертя в нарізі, сприйматиме напруження згину [2]:

$$\sigma_{\text{зг}} = 0,5E\theta \frac{d_1}{L}.$$

Навіть якщо палець затискного механізму буде розвантажений від деформації на кут θ завдяки наявності зазору δ_2 , він сприйматиме згинальний момент від додаткової деформації закріпленого каната, що буде показано нижче. Описані фактори потребують урахування з метою обчислення зазорів δ_2 , які необхідні для призначення посадки пальця у втулці та обґрунтування отриманих раніше розрахункових моделей пальців.

Для обчислення зазора δ_2 розглянемо трикутник ABC , з якого можна отримати:

$$\delta_2 \geq h\theta. \quad (1)$$

Катет розглянутого трикутника $BC = h$ обчислимо, враховуючи, що у складеному затискному механізмі торець пальця переміститься від торця втулки на величину поперечної деформації каната Δd_k , яку обґрунтовано в [9] ($\Delta d_k = 0,25d_k$):

$$h = h_{em} - 0,25d_k; \quad (2)$$

$$h_{em} = l_p + e = l_p + d_k; \quad (3)$$

$$\delta_2 \geq (l_p + 0,75d_k)\theta. \quad (4)$$

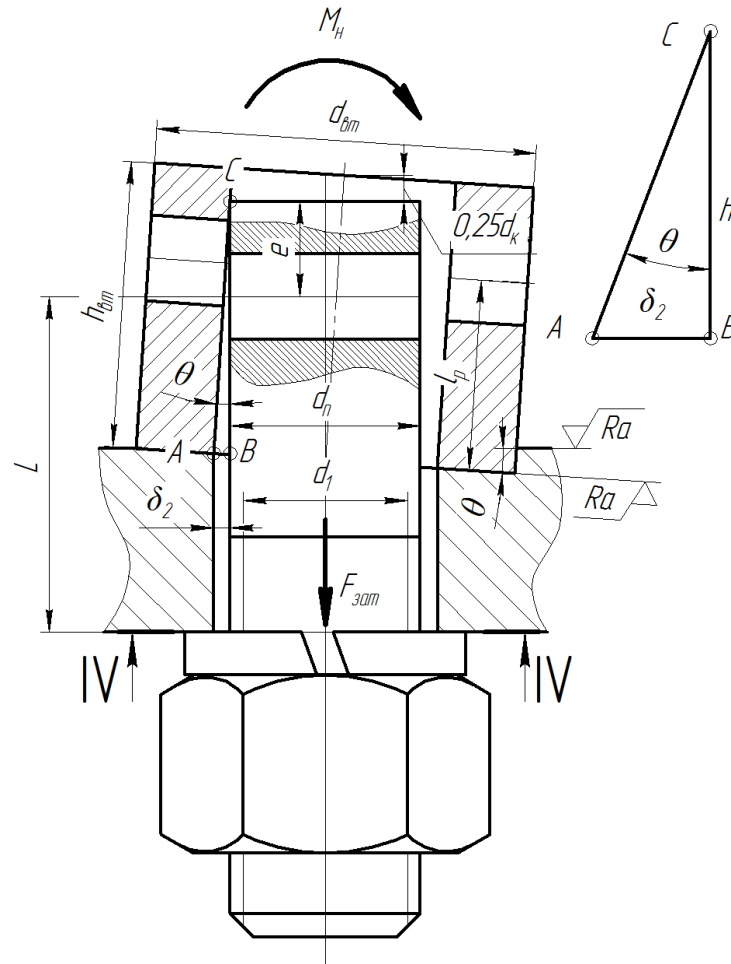


Рисунок 1 – Схема розрахунку зазора між пальцем та втулкою затискного механізму (канат умовно не показаний)

Кут контактного повороту втулки визначатимемо із використанням даних [3–7]:

$$\theta = k\varepsilon \frac{M}{I_{em}}, \quad (5)$$

де k – коефіцієнт контактної піддатливості; $\varepsilon = \frac{d_{em}}{50}$ – коефіцієнт впливу масштабу;

$I_{em} = \frac{\pi}{64} [d_{em}^4 - d_n^4]$ – момент інерції стику.

$$k = \frac{0,5RaC_0}{\sqrt{E\sigma_0}} 10^{-3}, \quad (6)$$

де $C_0 = 500$ – безрозмірний параметр при непаралельності слідів обробки (сліди обробки на торці втулки і торці фланця базової деталі непаралельні при їх обробленні точінням –

стосовно до напівмуфти це показано на рис. 2); $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль пружності для сталевих втулок та базових деталей; $\sigma_o = \frac{4F_{зам}}{\pi(d_{em}^2 - d_n^2)}$ – напруження в стику від затягування силою $F_{зам}$; Ra – шорсткість поверхонь торця втулки та базової деталі.

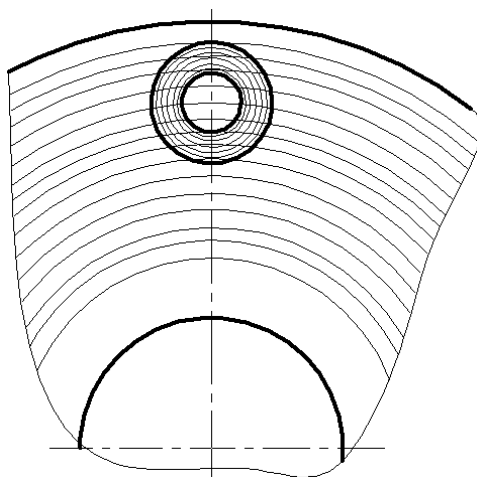


Рисунок 2 – Схема слідів обробки точінням на торцях напівмуфти та втулки

Після обчислення зазора δ_2 можна обирати посадку для втулки та пальця з умови:

$$2z_{\min} \geq 2\delta_2, \quad (7)$$

де $2z_{\min}$ – мінімальний зазор обраної посадки.

Для призначення посадок зручно величини, що входять у співвідношення (5) – (7) представити залежно від діаметра пальця d_n , який є номінальним розміром посадки. При цьому використаємо раніше застосовані коефіцієнти діаметра пальця відносно каната $\psi_{нк} = d_n/d_k$ втулки відносно каната $\psi_{ек} = d_{em}/d_k$, робочої довжини пальця відносно каната $\psi_{лк} = l_p/d_k$.

$$\delta_2 = \frac{d_n}{\psi_{нк}} (\psi_{лк} + 0,75) \theta; \quad (8)$$

$$I_{em} = \frac{\pi d_n^4}{64} \left[\left(\frac{\psi_{ек}}{\psi_{нк}} \right)^4 - 1 \right]; \quad (9)$$

$$\varepsilon = \frac{d_n}{50} \cdot \frac{\psi_{ек}}{\psi_{нк}}; \quad (10)$$

$$\sigma_o = \frac{4\kappa_{зон} F_n}{\pi d_n^2 \left[\left(\frac{\psi_{ек}}{\psi_{нк}} \right)^2 - 1 \right]}; \quad (11)$$

$$M_n = F_n d_n \frac{\psi_{лк}}{\psi_{нк}}. \quad (12)$$

Для обчислення максимальної сили натягу, яка може бути прикладена до затискного механізму, використаємо вираз:

$$F_n = \frac{F_{розр}}{\kappa_{зан}} = \frac{0,85 A_{\Sigma} \sigma_{вк}}{\kappa_{зан}}, \quad (13)$$

де $F_{розр}$ – розривне зусилля каната за ГОСТ; $\kappa_{зан}$ – коефіцієнт запасу міцності каната на розрив; 0,85 – коефіцієнт зменшення навантажувальної здатності каната порівняно зі стрижнем аналогічного діаметра завдяки згину та кручення дротин.

Виражаючи сумарну площу дротин каната через коефіцієнт заповнення його перерізу дротинами та діаметр каната ($A_{\Sigma} = 0,785 \psi_3 d_k^2$) та приймаючи в запас міцності $\psi_3 = 0,5$ (більшість поширених канатів має $\psi_3 = 0,44 \dots 0,48$) перетворимо вираз (6) до наступного вигляду:

$$F_n = \frac{0,85 \cdot 0,785 \psi_3 d_k^2 \sigma_{вк}}{\kappa_{зан}} = 0,33 \frac{d_k^2 \sigma_{вк}}{\kappa_{зан}}. \quad (14)$$

На наступному етапі виконували чисельне моделювання за виразами (8)–(12) з обчислення зазора δ_2 , приймаючи вірогідні для практики значення змінних величин $\psi_{пк} = 2$, $\psi_{вк} = 4$, $\psi_{пк} = 4$, $\kappa_{зан} = 5$, $Ra = 3,2$ мкм (досягається чистовим точінням), $\sigma_{вк} = 2160$ МПа, $\kappa_{зон} = 4$, діаметри пальців приймали з ряду діаметрів метричних нарізей (для досягнення гладкої конфігурації пальця) – 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 27 мм за ГОСТ-24705.

Результати чисельного моделювання представлені на рис. 3 штриховою лінією, де також нанесено графік для посадки C10/h9, яка придатна для розглянутих умов, оскільки у всьому діапазоні діаметрів виконується умова (7). Десятий квалітет точності отвору втулки досягається зенкеруванням або розточуванням, палець потребуватиме тонкого точіння або шліфування.

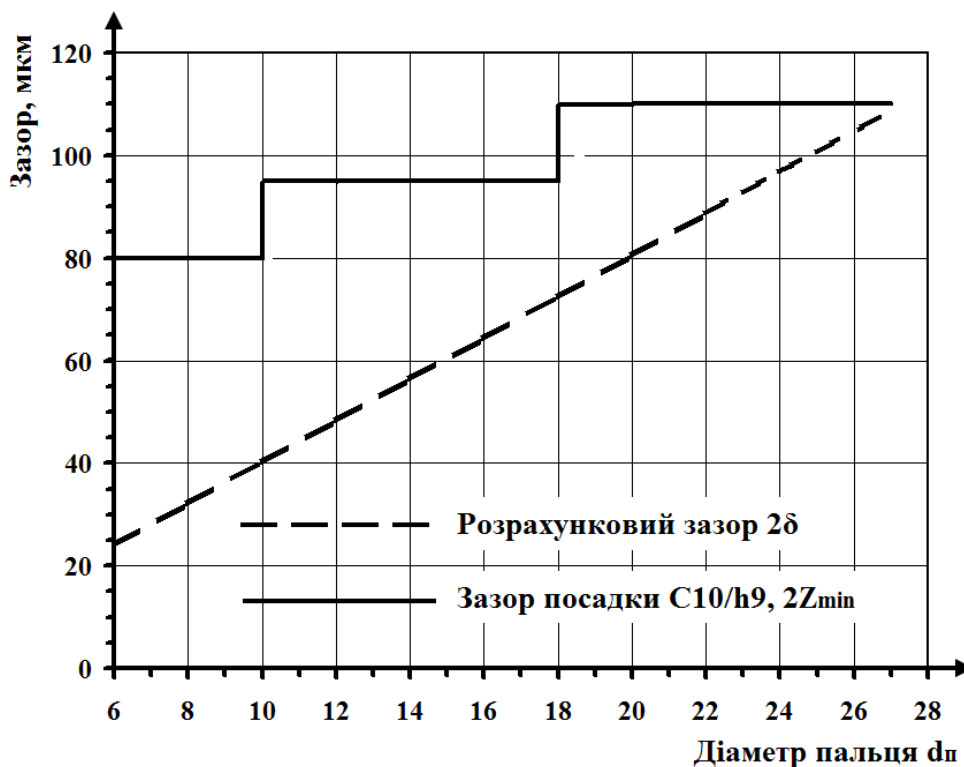


Рисунок 3 – Розрахункові та табличні зазори посадки «палець–втулка»

Для інших вихідних даних посадки можуть вибиратись після аналогічних розрахунків.

Переходячи до питання про формування розрахункової моделі пальця, розглянемо наступний варіант. Навіть у випадку наявності достатнього зазора вибраної посадки z_{min} ($z_{min} > \delta_2$) між пальцем та втулкою для повороту останньої в межах контактної піддатливості стику без контакту з пальцем, на палець буде діяти згинальний момент M_θ . Причину його виникнення пояснимо, використавши схему на рис. 4. При повороті втулки в межах контактної піддатливості точка N перетину осі каната з поверхнею отвору втулки переміститься в положення N_1 , а канат зазнає додаткового зсуву на кут θ_1 , що призведе до перерозподілу напружень зрізу в його дротинах.

Водночас, з трикутників ONN_1 та PNN_1 наближено отримаємо:

$$NN_1 = ON \cdot \theta = (0,5d_n + z)\theta; \quad (15)$$

$$\theta_1 = \arctg \frac{NN_1}{PN} = \frac{(0,5d_n + z)\theta}{z}. \quad (16)$$

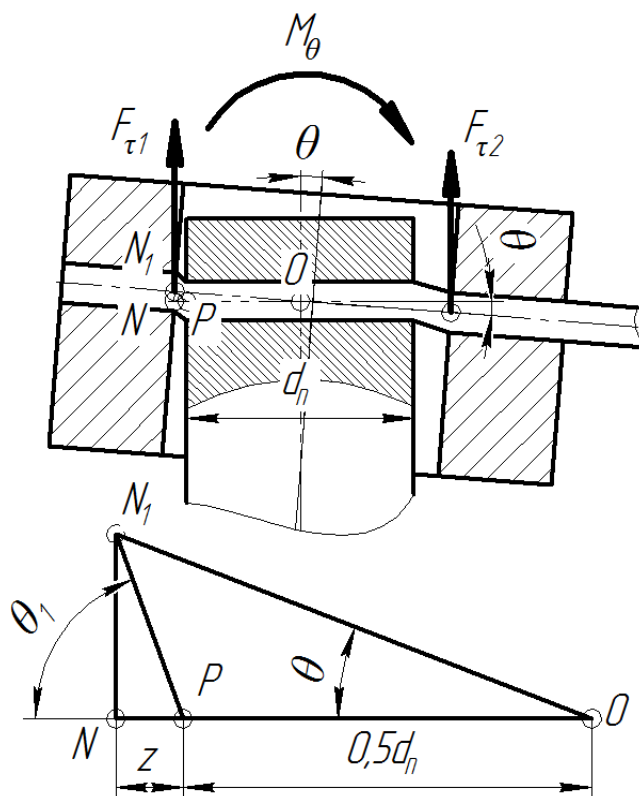


Рисунок 4 – Схема визначення згинального моменту M_θ

Такий додатковий зсув каната викличе в його дротинах, як уже було зазначено, зміну напружень зрізу $\tau_{зрк}$, які були досягнуті під час затягування на величину τ_θ , причому ліворуч від осі втулки (рис. 4) напруження зростуть, а праворуч – зменшаться, ці напруження викличуть нерівність зусиль $F_{\tau 1}$ та $F_{\tau 2}$, що діють збоку каната на палець [8]:

$$\tau_\theta = G_K \cdot \theta_1, \quad (17)$$

де G_K – модуль пружності другого роду для каната.

$$\begin{cases} F_{\tau 1} = (\tau_{зрк} + \tau_\theta) A_\Sigma; \\ F_{\tau 2} = (\tau_{зрк} - \tau_\theta) A_\Sigma; \\ F_{зат} = F_{\tau 1} + F_{\tau 2}. \end{cases} \quad (18)$$

Тоді згинальний момент M_θ , що діятиме на палець від додаткової деформації каната в результаті перекосу втулки, обчислюватиметься за виразом:

$$M_\theta = \frac{d_n}{2}(F_{r_1} - F_{r_2}) = \frac{d_n}{2} A_z \tau_\theta. \quad (19)$$

Таким чином, з урахуванням контактної деформації втулки, сумарні напруження в перерізі IV-IV пальця становитимуть (рис. 1).

– у випадку відсутності зазора z (варіант 1):

$$\begin{cases} \sigma_{3z} = 0,5E\theta \frac{d_1}{L}; \\ \sigma_p = \frac{4F_{zam}}{\pi d_1^2}; \\ \tau_{kp} = \frac{8d_2 \operatorname{tg}(\psi + \rho) F_{zam}}{\pi d_1^3}; \\ \sigma_E = \sqrt{[\sigma_{3z} + \sigma_p]^2 + 3\tau_{kp}^2}. \end{cases} \quad (20)$$

– у випадку наявності зазора z (варіант 2):

$$\begin{cases} \sigma_{3z} = \frac{32M_\theta}{\pi d_1^3}; \\ \sigma_p = \frac{4F_{zam}}{\pi d_1^2}; \\ \tau_{kp} = \frac{8d_2 \operatorname{tg}(\psi + \rho) F_{zam}}{\pi d_1^3}; \\ \sigma_E = \sqrt{[\sigma_{3z} + \sigma_p]^2 + 3\tau_{kp}^2}. \end{cases} \quad (21)$$

– у випадку наявності зазора z та нехтуванні дією моменту M_θ (варіант 3), еквівалентні напруження обчислюватимуться за виразом (22).

Для остаточного висновку про доцільність встановлення пальців у втулки із зазором та урахування моменту M_θ виконували розрахунки еквівалентних напружень за трьома описаними варіантами у вигляді табл. 1. Водночас враховували, що всі деталі сталеві ($E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$), модуль пружності каната G_k – обчислювали за даними [9] $G_k = \tau_{взр} Z_{np} / l_l = 720 \cdot 0,5 / 1,6 = 22,5 \text{ МПа}$. Шорсткість поверхонь торців втулки та базової деталі $Ra \ 3,2 \text{ мкм}$. Константа $C_0 = 500$ – сліди обробки на торцях не співпадають (рис. 2). Сума кутів підйому нарізи та тертя $(\psi + \rho) \approx 9^\circ$ [10]. При обчисленні кута θ_1 використовували максимальний зазор обраної посадки $z_{\max}$ (в запас міцності).

Таблиця 1 – Розрахунки еквівалентних напружень за основними варіантами

№ з/п	Параметр	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
1	F_n, H	2988		
2	$d_k, мм, ГОСТ$	5,8, ГОСТ 3070		
3	$A_\Sigma, мм^2$	11,67		
4	$l_p, мм$	12		
5	$L, мм$	22		
6	$\kappa_{зон}$	4		
7	$F_{зам}, H$	11952		
8	$d_n, мм$	12		
9	$d_{gm}, мм$	24		
10	Нарізь ($d_1, мм; d_2, мм$)	M12 (10,106; 10,863)		
11	$\sigma_0, МПа$	35		
12	ε	0,48		
13	$k, мм^3/H$	0,000295		
14	$M_n, Н\cdot мм$	35856		
15	$I_{gm}, мм^4$	12268		
16	$\Theta, рад$	0,000414		
17	$\delta_2, мм$	0,007		
18	Посадка	C10/h9 ($2z_{max} = 0,201\text{ мм}, 2z_{min} = 0,065\text{ мм}$)		
19	$\Theta_1, рад$	-	0,076	
20	$\tau_{зрк}, МПа$	512		
21	$G_k, МПа$	-	22,55	
22	$\tau_\Theta, МПа$	-	1,76	
23	$M_\Theta, Н\cdot мм$	-	124	
24	$\sigma_p, МПа$	149		
25	$\sigma_{зс}, МПа$	20	1,22	—
26	$\tau_{кр}, МПа$	51		—
27	$\sigma_E, МПа$	197	182	194

$$\sigma_{E2} = 1,3 \frac{4F_{зам}}{\pi d_1^2}. \quad (22)$$

Висновки. Аналіз виконаних досліджень та отриманих у вигляді табл. 1 результатів моделювання свідчить, що у випадку постановки пальця у втулку без зазора еквівалентні напруження в його нарізевій частині будуть близько на 10 % більшими, ніж у випадку складання їх по посадці із зазором, що свідчить про доцільність застосування таких посадок. Контрольний розрахунок за відомим для нарізових з'єднань [10] спрощеним виразом (22) у випадку складання втулки та пальця із зазором дає завищений результат еквівалентних напружень (на близько 6 %), проте на практиці виконувати такий розрахунок найпростіше, тим більше, що він дає запас міцності. Тобто, можна стверджувати, що у сполученні пальців та втулок слід забезпечувати зазори завдяки вибору відповідних посадок і виконувати перевірковий розрахунок пальця у перерізі IV-IV за виразом (22).

Напрями подальших досліджень. Представлений у роботі матеріал формує умови для поглиблення досліджень та розроблення основ розрахунку затискних механізмів, а також більш детального вивчення напруженого стану та розроблення уточнених розрахункових моделей для їх деталей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Левина З. М. Решетов Д. Н. Контактная жесткость машин. Москва : Машиностроение, 1971. 264 с.
2. Заблонский К. И. Детали машин. Киев : Вища школа, 1985. 518 с.
3. Иванов А. С. Контактная жесткость неподвижных соединений деталей машин : автореферат дис. докт. техн. наук :05.02.02 ; 01.02.06. Москва, 2006. 32 с.
4. Ермолаев М. М. Разработка методов расчета неподвижных соединений деталей машин с учетом податливости контактного слоя : автореферат дис. канд. техн. наук : 05.02.02. Москва, 2015. 16 с.
5. Иванов А. С. Нормальная, угловая и касательная контактные жесткости плоского стыка. *Вестник машиностроения*. 2007. № 7. С. 34–37.
6. Иванов А. С. Учет контактной податливости стыка при расчете резьбового соединения, нагруженного отрывающей силой и опрокидывающим моментом. *Вестник машиностроения*. 2003. № 6. С. 31–34.
7. Иванов А. С. Расчет и конструирование одноболтового резьбового соединения, нагруженного отрывающей силой и опрокидывающим моментом. *Вестник машиностроения*. 2003. № 8. С. 52–54.
8. Дарков А. В., Шпиро Г. С. Соппротивление материалов. Москва : Высшая школа, 1969. 734 с.
9. Проценко В. О., Бабій М. В., Клементьева О. Ю. Дослідження закріплення канатів затискними елементами муфт. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2016. № 838 : Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. С. 84–92.
10. Иванов М. Н. Детали машин Москва : Высшая школа, 1967. 431 с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Levina Z. M. Reshetov D. N. (1971). *Kontaktnaya zhestkostj mashin*. Moskva : Mashinostroenie.
2. Zablonskiy K. I. (1985). *Detali mashin*. Kiev : Vitha shkola.
3. Ivanov A. S. (2006). *Kontaktnaya zhestkostj nepodvizhnikh soedineniyj detaleyj mashin. Extended abstract of Doctor's thesis*. Moskva.
4. Ermolaev M. M. (2015). *Razrabotka metodov rascheta nepodvizhnikh soedineniyj detaleyj mashin s uchetom podatlivosti kontaktnogo sloya Extended abstract of Doctor's thesis*. Moskva.
5. Ivanov A. S. (2007). Normaljnaya, uglovaya i kasateljnaya kontaktnihe zhestkosti ploskogo stihka. *Vestnik mashinostroeniya*, 7, 34–37.
6. Ivanov A. S. (2003). Uchet kontaktnoyj podatlivosti stihka pri raschete rezjbovogo soedineniya, nagruzhennogo otrihvayutheyj siloyj i oprokidihvayuthim momentom. *Vestnik mashinostroeniya*, 6, 31–34.
7. Ivanov A. S. (2003). Raschet i konstruirovanie odnoboltovogo rezjbovogo soedineniya, nagruzhennogo otrihvayutheyj siloyj i oprokidihvayuthim momentom. *Vestnik mashinostroeniya*, 8, 52–54.
8. Darkov A. V., Shpiro G. S. (1969). *Soprotivlenie materialov*. Moskva : Vihsshaya shkola.
9. Procenko V. O., Babiyy M. V., Klementjeva O. Yu. (2016). Doslidzhennya zakriplennya kanativ zatisknimi elementami muft. *Visnik Nacionaljnogo universitetu «Ljvivsjka politehnika»*, 838 : *Dinamika, micnistj ta proektuvannya mashin i priladiv*, 84–92.
10. Ivanov M. N. (1967). *Detali mashin*. Moskva : Vihsshaya shkola.

Проценко В. А. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ПОСАДОК И РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ

В статье выполнен анализ напряженного состояния пальцев зажимных механизмов для закрепления стальных канатов. Разработана модель передачи ими нагрузки с учетом контактной податливости стека втулки и фланца. Доказано, что установка пальца во втулку с зазором позволяет снизить напряжения изгиба сравнительно с вариантом, где он отсутствует. Получены выражения для расчета зазора посадки и обоснован выбор посадок. Показано, что контактная деформация стека втулки и фланца приводит к перераспределению напряжений среза каната. Это перераспределение приводит к нагружению пальцев изгибающим моментом и возникновению напряжений изгиба, величина которых, однако, меньше в 20 раз, чем при отсутствии зазора между пальцем и втулкой. Показано, что в случае сборки с зазором расчет пальцев в резьбовой части можно выполнять на совместное действие изгиба и кручения по эквивалентным напряжениям, на 30% превышающим напряжения растяжения.

Ключевые слова: муфта, канат, зажим, зазор, посадка

Protsenko V. O. FEATURES OF FIT SELECTION AND STRENGTH CALCULATION OF DEVICES FOR STEEL ROPES CLAMPING

The article analyzes the stressed state of the fingers of the clamping mechanisms for steel ropes clamping. A model for transferring the load is developed taking into account the contact compliance of the sleeve and flange stack. It is proved that the installation of the finger in the bush with the gap allows to reduce the bending stress in comparison with the version where it is absent. Expressions have been obtained for calculating the landing clearance and justified the choice of plantings. It is shown that the contact deformation of the hub and flange stack leads to redistribution of the rope shear stresses. This redistribution leads to the loading of the fingers with a bending moment and the appearance of bending stresses, the magnitude of which, however, is 20 times smaller than in the absence of a gap between the finger and the bushing. It is shown that in the case of assembly with a gap, the calculation of the fingers in the threaded part can be performed on the joint action of bending and torsion on equivalent stresses, 30% higher than the tensile stress.

Keywords: coupling, rope, clamping, gap, landing.

© Проценко В. О.

Статтю прийнято
до редакції 21.03.18

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПО ПАРАМЕТРАМ РАЗГОНА И ВЫБЕГА МАШИНЫ

Рабинович Э. Х., к.т.н., с.н.с. доцент Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, e-mail: erjara39@ukr.net;

Зуев В. А., ассистент Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, e-mail: vlal.zu@mail.ru

Предложен метод оценки технического состояния двигателя по выходным рабочим параметрам машины без демонтажа его с машины и применения специального оборудования. Метод, включающий в себя выполнение разгона и выбега на разных скоростных и (или) нагрузочных режимах работы машины, проиллюстрирован примером разгона на II передаче с последующим выбегом автомобиля Lada Priora. Параметры процессов регистрировали по записи трека приемником GPS и видеозаписи движения автомобиля мимо элементов обустройства дороги, расположенных с проверенным шагом. Измеренное время разгона соответствует отличному состоянию двигателя, время выбега – отсутствию чрезмерных сопротивлений в ходовой части и трансмиссии. Построенная по видеозаписям разгона и выбега кривая крутящего момента позволяет подробнее изучить работу двигателя на разных оборотах. На точность метода негативно влияет неопределенность использованных в расчете значений массы автомобиля, КПД трансмиссии, момента инерции подвижных частей двигателя и динамического радиуса ведущих колес. Намечены пути снижения неопределенности этих показателей, в частности, предложен способ определения момента инерции двигателя методом двойного выбега на роликовом тяговом стенде (динамометре шасси).

Ключевые слова: двигатель, машина, разгон, выбег, длительность, крутящий момент, автомобиль Lada Priora.

Введение. Актуальность исследования. Будем называть машиной любое устройство, предназначенное для выполнения механической работы и имеющее привод (двигатель и трансмиссию) и рабочий орган. Разгон – ускоренное движение машины или ее рабочего органа от ее привода либо от внешнего привода с известной силовой характеристикой. Выбег – замедленное движение машины или ее рабочего органа при отсоединенном приводе.

В процессе эксплуатации техническое состояние автомобилей ухудшается. По статистике США, в течение первых трех лет работы пользователи выявляют в среднем более 152 проблемы на каждую сотню автомобилей. Средний возраст легковых автомобилей в США – 11,8 года. Из общего числа 263 млн автомобилей около 44 млн имеют возраст от 16 до 24 лет, около 11 млн – 25 лет и более. Растет потребность в ремонтах, соответственно в противовес дилерским каналам растет число независимых мастерских. Они захватили уже почти весь ремонтный бизнес.

Необходимый элемент рациональной системы технической эксплуатации машин – это регулярное получение информации о текущем состоянии объекта, т.е. диагностика. На крупных объектах, типа главных двигателей судов, турбогенераторов и т.п., имеется достаточно встроенных диагностических средств. На небольших массовых объектах, например, легковых автомобилях, технико-экономические соображения сегодня ограничивают такие возможности. То же относится к объектам, созданным давно, но до сих пор находящимся в эксплуатации. Здесь нужны методы, позволяющие оценить состояние объекта по его рабочим (выходным) параметрам. Для автомобилей в качестве таких параметров предлагаются значения времени разгона от первой до второй скорости и времени выбега от третьей до четвертой скорости.

Постановка задачи. Требуется установить количественное соотношение между измеряемыми в рабочих режимах выходными параметрами машины и искомыми выходными параметрами двигателя, характеризующими его техническое состояние. В нашем случае это соотношение между измеренными длительностями разгона и выбега автомобиля и фактическим крутящим моментом двигателя.

Решение задачи. Цель исследования – улучшение технического состояния машины в эксплуатации путем регулярного диагностирования по рабочим выходным параметрам, выполняемого пользователем, и последующего устранения неисправностей.

Объект исследования – неустановившееся движение машины или ее рабочего органа.

Предмет исследования – оценка технического состояния двигателя по выходным рабочим параметрам машины.

Методы исследования – наблюдение, натурный эксперимент, измерения, математическая обработка результатов измерений.

Результаты исследований. Время разгона зависит от резерва тяги $P_p(v)$, т.е. разности между тяговой (движущей) силой, создаваемой приводом машины $P_k(v)$, и сопротивления движению $P_c(v)$. Отношение P_p к приведенной массе объекта m – ускорение $j(v)$, которое и определяет текущую скорость при известном текущем времени разгона:

$$v_{acc12} = \sum_{v1}^{v2} \frac{P_{pi}}{m} \cdot (t_i - t_{i-1}). \quad (1)$$

Отсюда можно найти для каждого интервала скорости силу P_p , сложить с суммой сопротивлений в этом интервале P_c и вычислить соответствующее значение эффективного крутящего момента двигателя M_e :

$$P_{pi} = m \cdot \frac{\Delta v_i}{\Delta t_i}; \quad P_{ki} = P_{pi} + P_{ci}; \quad M_{ei} = \frac{P_{ki} \cdot r_d}{u_0 \cdot u_g \cdot \eta}, \quad (2)$$

где r_d – динамический радиус ведущего колеса, м; u_0, u_g – передаточные числа главной пары и включенной передачи; η – КПД трансмиссии.

Отношение этого момента к номинальному, найденному по ВСХД, и будет показателем технического состояния привода. Обозначим его $П_c(v)$.

Используем в качестве примера данные дорожных испытаний автомобиля Lada Priora [1], в частности – данные разгона на 2-й передаче и последующего выбега (рис. 1, 2).

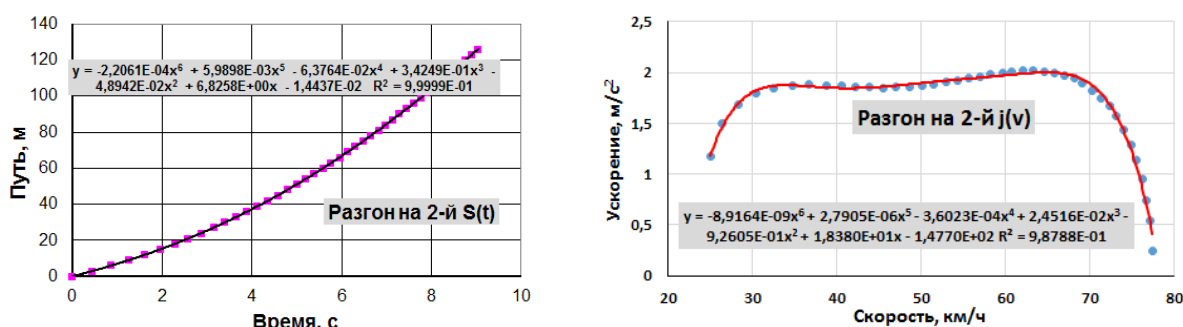


Рисунок 1 – Показатели разгона седана Lada Priora на II передаче

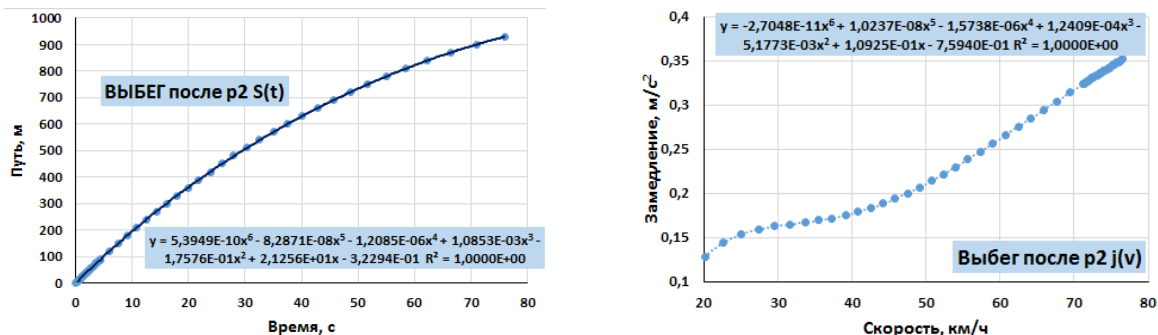


Рисунок 2 – Показатели выбега седана Lada Priora после разгона на II передаче

Вторая передача выбрана не случайно. Автомобили могут разгоняться на ней без пробуксовки, Разгон происходит, например, от 2 до 5 тыс. мин⁻¹ коленчатого вала (КВ), т.е. позволяет оценить работу двигателя в значительном скоростном диапазоне и длится, как и выбег, достаточно долго для уверенной регистрации параметров процесса.

Обычно для оценки технического состояния привода и ходовой части достаточно двух параметров – времени разгона и времени выбега. В описываемом эксперименте был взят случайный автомобиль в рабочем состоянии. Получено время разгона от 20 до 73 км/ч 7,6 с, время выбега от 50,5 до 20,2 км/ч – 50 с. Соответствующие нормативы, вычисленные нами, – 7,7 с (при полном крутящем моменте) и от 42,6 до 53,4 с в зависимости от качества шин. Основные сложности связаны с вычислением нормативов. Для расчета нормативов выбега нужны значения массы автомобиля в расчетном случае, зависящих от скорости коэффициентов сопротивления качению $f(v)$ и сопротивления воздуха C_x , лобовой площади автомобиля F и потерь холостого хода трансмиссии. Для расчета норматива разгона еще требуется кривая крутящего момента при полной подаче топлива $Me(n)$, т.е. внешняя скоростная характеристика (ВСХД).

Обычно эти показатели известны с оговорками – в лучшем случае среднее значение и среднеквадратичное отклонение (СКО), а чаще – только предполагаемые пределы. В упомянутом эксперименте масса автомобиля была 1087 кг (по показаниям весового устройства стенда для проверки тормозов Beissbarth BD 600; точность таких устройств – $\pm 2...3\%$ [3, 4]). Фактическая масса во время заездов – 1370 кг; участники эксперимента с аппаратурой взвешены на напольных весах Saturn (ЧССР).

Остальные показатели приняты по литературным данным: $C_x=0,32$, $F=1,93\text{ м}^2$ [5]. Сопротивление качению шин КАМА EURO 224 185/60 R14 82H – как для шин класса ECO по справочнику Bosch [6]. Потери холостого хода трансмиссии в ньютонах рассчитаны по формуле Московкина В. В. [7] с принятыми нами коэффициентами:

$$P_x=6+0,34v. \quad (3)$$

Наибольшие сложности возникли при сопоставлении расчетных и экспериментальных кривых момента из-за неопределенности кривой момента по ВСХД. В эксперименте были получены ускорения разгона $a(v)$ и замедления выбега $j(v)$. Наличие этих данных позволило восстановить кривую крутящего момента при допущении, что суммарная сила тяги на всех ведущих колесах:

$$P_k = P_p + \Sigma P_c = a \cdot m_{ac} + j \cdot m_{dc} \quad (4)$$

где m_{ac} , m_{dc} – приведенная к контакту ведущего колеса с дорогой масса автомобиля при разгоне и выбеге соответственно, кг:

$$m_{dc} = m_a + m_{np.k.mp}; \quad m_{ac} = m_{dc} + m_{np.dv}, \quad (5)$$

где $m_{np.k.mp}$ – приведенная масса колес и трансмиссии, кг; $m_{np.dv}$ – приведенная масса подвижных частей двигателя, кг.

Приблизительное значение приведенной массы колес и трансмиссии рассчитано по формуле:

$$m_{np.k.mp} = (4,6 \cdot I_k + 0,1) / r_k^2, \quad (6)$$

где 4 – количество участвующих в движении колес автомобиля; 0,6 – приблизительное значение момента инерции трансмиссии в долях от момента инерции колеса I_k ; 0,1 – приблизительное значение удвоенного момента инерции тормозного барабана со ступицей ведомого заднего колеса.

По нашим данным, среднее значение $I_k = 0,58\text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $r_k=0,279\text{ м}$. Тогда:

$$m_{np.k.mp} = (4,6 \cdot 0,58 + 0,1) / 0,279^2 = 35,6\text{ кг}.$$

Приведенная масса подвижных частей двигателя вычисляется по формуле:

$$m_{пр.дв} = I^д \cdot (u_0 \cdot u_g / r_k)^2, \quad (7)$$

где $I^д$ – момент инерции подвижных частей двигателя.

Двигатель ВАЗ-21126 создан на базе двигателя ВАЗ-2101, момент инерции которого со сцеплением и ведущей частью трансмиссии составлял 0,136 кг·м² [8]. У ВАЗ-21126 легче маховик, поршни и шатуны [9]. По нашей приблизительной оценке это могло снизить момент инерции до 0,129...0,130 кг·м². Для расчетов принято значение 0,130 кг·м². Соответствующие значения приведенных масс двигателя и автомобиля указаны в табл. 1.

Таблица 1 – Приведенные моменты инерции и массы двигателя ВАЗ-21126 ($I^д=0,13$ кг·м²) и автомобиля LADA Priora на передачах ($r_k=0,279$ м)

Передача	V	IV	III	II	I	Главная пара
Передаточное число	0,784	0,941	1,357	1,950	3,638	3,7059
Приведенная масса, кг	25,84	37,23	77,42	159,86	321,2	
Приведенная масса автомобиля при выбеге, кг (автомобиль, люди, колеса и трансмиссия)					1370+35=1405	
То же при разгоне (плюс двигатель)	2234	1974	1893	1862	1847	

Здесь принято явно грубое допущение, что статические сопротивления при разгоне и выбеге одинаковы. На самом деле при выбеге действуют наряду с другими сопротивлениями потери холостого хода трансмиссии P_x , а при разгоне их не надо выделять – они учитываются общим КПД трансмиссии. Поэтому из значений j надо вычитать парциальное замедление $j_{xx} = P_x / m_{dc}$, которое создавали бы потери холостого хода при отсутствии других сил.

Внешняя скоростная характеристика двигателя (ВСХД) ВАЗ-21126 практически одинакова во всех публикациях АвтоВАЗа [9]. Однако исследователи и тюнинговые фирмы приводят отличающиеся ВСХД. Особенно интересна картина фирмы «Квазар» [10], где достигнут крутящий момент больше 150 Нм, зато в низкооборотной части момент резко падает (рис. 3). Нами получена в эксперименте похожая кривая (рис. 3, двойная линия, табл. 2). Примем кривую фирмы «Квазар» в качестве второй номинальной.

Таблица 2 – Расчет показателей технического состояния автомобиля

V	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
n	1718	2061	2405	2748	3092	3435	3779	4122	4466	4809	5153
Me B	121	131	137	141	148	145	145	144	142	137	127
Pт	2886	3144	3287	3385	3539	3461	3465	3455	3403	3267	3048
a p	0,441	1,710	1,914	1,881	1,887	1,950	2,022	2,084	2,141	2,109	1,614
Pp	657	2551	2856	2807	2816	2910	3017	3110	3194	3146	2408
j в	0,154	0,163	0,169	0,177	0,191	0,211	0,236	0,263	0,291	0,318	0,345
jxx	0,010	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022
Pc	201	213	219	229	248	274	306	343	380	418	454
Pp+Pc	859	2765	3075	3036	3064	3184	3324	3453	3574	3564	2862
M экс	36	116	128	127	128	133	139	144	149	149	120
Me K	87	108	123	128	127	128	133	143	154	157	148
Pт	2075	2579	2940	3060	3048	3059	3190	3434	3674	3748	3552
Pc	0,414	1,072	1,046	0,992	1,005	1,041	1,042	1,006	0,973	0,951	0,806

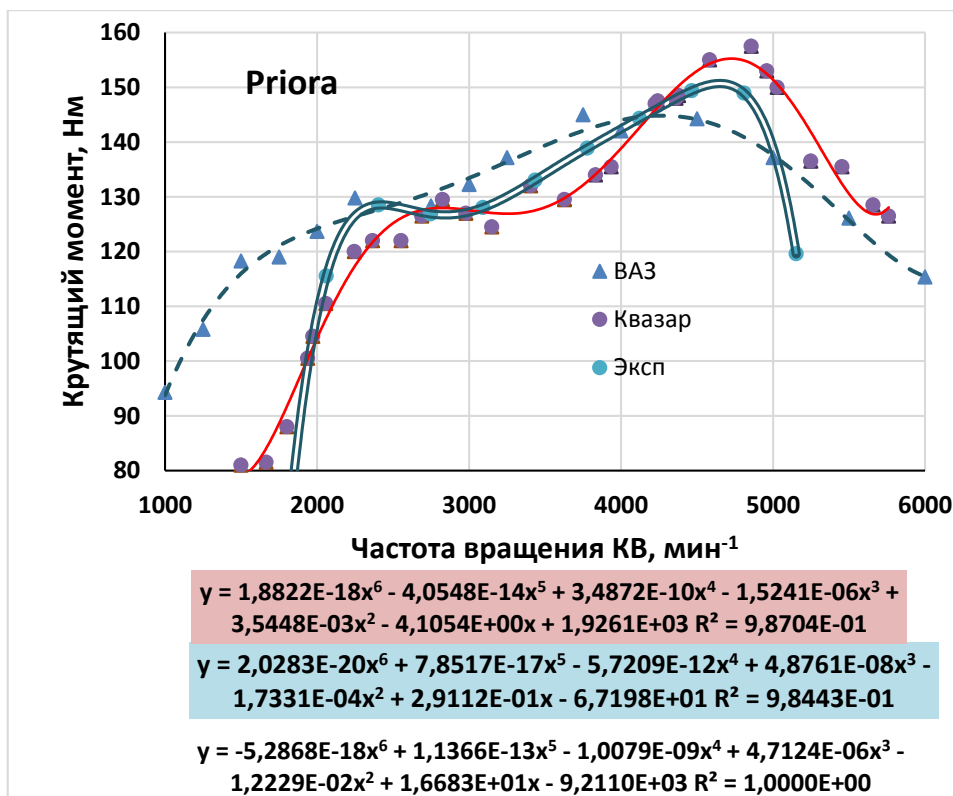


Рисунок 3 – Кривые крутящего момента по данным АвтоВАЗ, фирмы «Квазар» и нашего эксперимента

Полученные результаты позволяют оценить техническое состояние по-разному: 1) по отношению максимального достигнутого момента к максимальному по номинальной кривой; 2) по среднему из значений P_c в характерных точках; 3) по разности единица плюс отношение суммы отклонений фактического момента от номинального в характерных точках к сумме значений номинального момента в этих же точках. В нашем примере первый вариант дал значения $150/145=1,034$ ($150/157,5=0,952$); второй $0,894$ ($0,941$); третий – $0,910$ ($0,957$). Однако единственное значение, рассчитанное по любому из вариантов, дает лишь первое представление о техническом состоянии автомобиля, а для реальной оценки нужно рассматривать кривые, подобные показанным на рис. 3, с учетом фактических условий работы.

Полезно оценить влияние неточности наших оценок различных параметров на результат. Будем менять значения показателя в возможных пределах и оценивать изменение результата, например, по третьему варианту (табл. 3).

Устранить эти неточности простыми доступными средствами невозможно. Так, у обычных автовесов допускаемая погрешность при взвешивании автомобилей до 6 тонн составляет ± 20 кг. Если есть возможность взвесить автомобиль на более точных весах хотя бы один раз, то потом можно корректировать этот результат учетом количества топлива в баке, износа шин, замены частей и агрегатов, дополнительных пассажиров или груза – большинство этих объектов можно взвесить на обычных напольных или торговых весах (до 150 кг). Весовые устройства диагностических стендов имеют точность $\pm 2\%$, что при массе автомобиля 1000 кг означает те же ± 20 кг.

КПД трансмиссии, возможно, удастся уточнить на роликовом стенде, имитируя дополнительные сопротивления в ней нагрузочным устройством стенда.

Радиус качения можно уточнить, соотнося данные о частоте вращения коленчатого вала, полученные с разъема OBD II, с данными о скорости с приемника спутниковых сигналов. Скорость с разъема OBD II не точна, поскольку зависит от неопределенного радиуса качения ведущих колес.

Таблица 3 – Влияние неточности входящих величин на оценку технического состояния

Значение	Показатель технического состояния		Изменение показателя технического состояния	
	По ВАЗ	По Квазар	По ВАЗ	По Квазар
Момент инерции двигателя, кг·м ²				
0,13	0,91	0,957		
0,11	0,903	0,950	0,992	0,993
0,14	0,913	0,961	1,003	1,004
0,18	0,925	0,975	1,016	1,019
0,21	0,936	0,986	1,029	1,030
КПД трансмиссии				
0,91	0,91	0,957		
0,89	0,928	0,977	1,020	1,021
0,93	0,892	0,938	0,980	0,980
0,95	0,875	0,92	0,962	0,961
Приведенная масса автомобиля при выбеге, кг				
1405	0,91	0,957		
1345	0,876	0,922	0,963	0,963
1375	0,893	0,939	0,981	0,981
1435	0,927	0,973	1,019	1,017
1455	0,938	0,987	1,031	1,031
1475	0,949	0,999	1,043	1,044
Соппротивления холостого хода трансмиссии, Н				
×1,0	0,91	0,957		
×1,3	0,91	0,957	1	1
×3	0,909	0,956	0,999	0,999
Радиус качения, м				
0,279	0,91	0,957		
0,273	0,895	0,936	0,984	0,978
0,275	0,9	0,943	0,989	0,985
0,277	0,905	0,95	0,995	0,993
0,281	0,915	0,965	1,005	1,008
0,283	0,92	0,972	1,011	1,016

При наличии роликового тягового стенда можно воспользоваться методом трех выбегов, согласно которому момент инерции двигателя определяют по результатам двух испытаний автомобиля на роликовом стенде – с замкнутой и разомкнутой трансмиссией [11]. В первом испытании регистрируют замедление выбега системы автомобиль–стенд (строго говоря, двигатель–замкнутая трансмиссия–колеса–стенд) j^{ac} , во втором, после разобщения трансмиссии – отдельно замедление выбега двигателя j^d , отдельно – ведомой части разобщенной трансмиссии, колеса и стенда j^{tp} . Из обработки записей в одинаковых скоростных диапазонах находят замедления всех трех выбегов и определяют момент инерции двигателя I^d по следующей формуле:

$$I^d = \frac{j^{tp} - j^{ac}}{j^{ac} - j^d} \cdot (I^{tp.a} + 2 \cdot I^k + I^{ct}), \quad (8)$$

где $I^{tp.a}$, I^k , I^{ct} моменты инерции соответственно трансмиссии автомобиля, колеса и стенда.

Момент инерции трансмиссии автомобиля определяют предварительно методом выбега, колеса – методом бифилярного подвеса, стенда – методом падающего груза (метод Атвуда).

Выводы. Итак, предложен метод оценки технического состояния двигателя по выходным рабочим параметрам машины без демонтажа двигателя с машины и применения специального оборудования. Метод включает в себя выполнение разгона и выбега на разных скоростных и нагрузочных режимах с регистрацией параметров указанных режимов. Метод пригоден для любой машины, устройство и оснащение которой позволяет реализовать такие проверки.

Точность метода можно повысить, уменьшив неопределенность основных входящих параметров машины (для автомобиля – массы, КПД трансмиссии, момента инерции двигателя).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выбор средств измерения параметров движения автомобиля при дорожном диагностировании / Э. Х. Рабинович, Д. В. Абрамов, Д. М. Клец [и др.] // Метрологія та вимірювальна техніка : IX Міжнар. наук.-техн. конф. «Метрологія–2014». (15–16 жовтня 2014 р.). – Х.: ННЦ «Інститут метрології», 2014. – С. 363–366.
2. Тормозной стенд Beissbarth BD600-Beissbarth в Украине / / [Электронный ресурс] Режим доступа: www.beissbarth.kiev.ua/bd600.html.
3. BM9010 Brake tester / Gemco www.gemco.co.uk/.../uploads/.../BM9010-Brake-Tester-Bro... *Weight measuring accuracy*. 0 – 100 kg: ± 2 kg > 100 kg: ± 2 % FS.
4. HK_Catalog_2012_Test_Lane.pdf / [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.hkautomotive.net/files/05_
5. Аэродинамика Приоры / [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.drive2.ru/l/3146081>
6. BOSCH. Автомобильный справочник: Пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.: ил.
7. Петрушов В.А. Мощностной баланс автомобиля / В.А. Петрушов, В.В. Московкин, А.Н. Евграфов // М.: Машиностроение, 1984. – 160 с.
8. Цитович И.С., Альгин В.Б. Динамика автомобиля. – Мн.: Наука и техника. – 1981. – 191 с.
9. Конструктивные особенности двигателя ВАЗ-21126 Lada-2170 Priora / [Электронный ресурс] Режим доступа: autoholding.net/851_konstruktivnie_osobennosti_dvigatelya_vaz_IIIIVI_LADA_IIIVIO_PRIORA.html
10. График замера ВСХ серийного двигателя ВАЗ 21126 ПРИОРА (1.6 л) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://kvazar-3000.narod.ru>
11. Зуев В.А. Бестормозной метод определения момента инерции двигателя на роликовом стенде // Матеріали 8-ї міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та устаткування для їх обслуговування». (28–29 вересня 2017 р.) – Херсон : Херсонська державна морська академія. – С. 417–423.

REFERENCES

1. Rabinovich, E.H., Abramov, D.V, Klec D.M. [et al] (2014) Choice of means for measuring the parameters of vehicle movement during road diagnostics / [Vybor sredstv izmereniya parametrov dvizheniya avtomobilya pri dorozhnom diagnostirovanii] *Metrology and measuring equipment: IX International Sci.-Tech. conf. «METROLOGY-2014» - October 15-16, 2014, Kharkiv. Science Works [METROLOHIIa TA VYMIRluVALNA TEKhnIKA: IX Mizhnar. nauk.-tekhn. conf. «METROLOHIIa–2014» – 15–16 zhovtnia 2014 r., Kh.: nauk. pratsi.]* Kharkiv: NSC «Institute of Metrology», 2014. - P. 363-366.
2. Brake tester Beissbarth BD600 - Beissbarth in Ukraine / Available at: www.beissbarth.kiev.ua/bd600.html.
3. BM9010 Brake tester / Available at: Gemco www.gemco.co.uk/.../uploads/.../BM9010-Brake-Tester-Bro...
4. HK_Catalog_2012_Test_Lane.pdf / Available at: http://www.hkautomotive.net/files/05_

5. Aerodynamics of Priora [Aerodynamyka Pryory] / Available at: <https://www.drive2.ru/l/3146081>
6. BOSCH. Automotive Handbook. 5th Edition
7. Petrushov, V.A, Moskovkin, V.V, Evgrafov A.N. (1984) Power balance of the car [Moshchnostnoi balans avtomobylya] / Moscow: Mechanical Engineering, 1984. - 160 p.
8. Tsitovich, I.S., Algin, V.B. (1981). The dynamics of car. [Dynamyka avtomobylya] - Minsk: Science and technology. - 1981.- 191 p.
9. Design features of the VAZ-21126 engine Lada-2170 Priora [konstruktivnie_osobennosti_dvigatelya VAZ-21126 Lada-2170] / Available at: autoholding.net/851_konstruktivnie_osobennosti_dvigatelya_vaz_IIIIIVI_LADA_IIIVIO_PRIORA.html
10. The diagramm of measurement the external high-speed characteristic of the engine (Horsepower & Torque curve) of the serial engine VAZ 21126 PRIORA (1.6 l) [Hrafyk zamera VSKh seryinoho dvyhatelia VAZ 21126 PRYORA (1.6 l)] Available at: <http://kvazar-3000.narod.ru>
11. Zuev, V.A. (2017). The non-brake method for determining the inertia moment of the engine on a roller stand [Bestormoznoi metod opredeleniya momenta ynerstyy dvyhatelia na rolykovom stende] / Materials of the 8th Intern. science-practice conf. «Modern energy installations on transport, technologies and equipment for their servicing» [Suchasni enerhetychni ustanovky na transporti, tekhnolohii ta ustatkuvannia dlia yikh obsluhovuvannia]. September 28-29, 2017 – Kherson : Kherson State Maritime Academy, 417–423.

Рабінович Е. Х., Зуєв В. О. ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНА ЗА ПАРАМЕТРАМИ РОЗГОНУ І ВИБІГУ МАШИНИ

Запропоновано метод оцінки технічного стану двигуна за вихідними робочими параметрами машини без демонтажу його з машини і застосування спеціального обладнання. Метод, що включає в себе виконання розгону та вибігу на різних швидкісних і (або) навантажувальних режимах роботи машини, проілюстрований прикладом розгону на II передачі з подальшим вибігом автомобіля Lada Priora. Параметри процесів реєстрували шляхом запису треку приймачем GPS і відеозапису руху автомобіля повз елементи облаштування дороги, розташовані з перевіреною кроком. Виміряний час розгону відповідає відмінному стану двигуна, час вибігу – відсутності надмірних опорів у ходовій частині і трансмісії. Побудована за відеозаписами розгону і вибігу крива крутного моменту дозволяє докладніше вивчити роботу двигуна на різних обертах. На точність методу негативно впливає невизначеність використаних у розрахунку значень маси автомобіля, ККД трансмісії, моменту інерції рухомих частин двигуна і динамічного радіуса ведучих коліс. Намічено шляхи зниження невизначеності цих показників, зокрема, запропонований спосіб визначення моменту інерції двигуна методом потрійного вибігу на роликовому тяговому стенді (динамометрі шасі).

Ключові слова: двигун, машина, розгін, вибіг, тривалість, крутний момент, автомобіль Lada Priora.

Rabinovich E. Kh., Zuev V. A. ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE ENGINE ACCORDING TO THE PARAMETERS OF ACCELERATION AND COASTING OF THE MACHINE

The article describes the method for assessing the technical state of the engine on the output operating parameters of the machine without dismantling it from the machine and using special equipment. The method, including the execution of acceleration and coasting at different high-speed and (or) load modes of the machine, is illustrated by an example of acceleration in the 2nd gear followed by a run-off of the Lada Priora car. The process parameters were recorded by recording the track by the GPS receiver and video recording of the vehicle's motion past the elements of the road arrangement located with a verified step. The measured acceleration time corresponds to the excellent state of the engine and the run-out time indicates the absence of excessive resistance in the undercarriage and the transmission. Recovered from the video records of acceleration and coasting, the torque curve allows you to learn more about the engine at different speeds. The accuracy of the method is adversely affected by the uncertainty of the vehicle weight values used, the transmission efficiency, the moment of inertia of the moving parts of the engine and the dynamic radius of the driving wheels. Ways to reduce the uncertainty of these indicators are outlined, in particular, a method is proposed for determining the inertia moment of the engine by the method of triple run-out on a roller stand (chassis dynamometer).

Keywords: engine, car, acceleration, coasting, duration, torque, car Lada Priora.

© Рабінович Е. Х., Зуєв В. О.

Статтю прийнято
до редакції 23.05.18

УДК: 620.179.16

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ПОЛІНАПОВНЕНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ

Савчук П. П., д.т.н., професор, ректор Луцького національного технічного університету, ORCID: 0000-0002-6152-5447;

Кашицький В. П., к.т.н., доцент, професор Луцького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003-2346-912X;

Люшук О. М., аспірант Луцького національного технічного університету, ORCID: 0000-0002-3018-1039;

Матрунчик Д. М., аспірант Луцького національного технічного університету, ORCID: 0000-0002-8173-2582;

Удовиська Ю. А., аспірантка Луцького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003-2409-1448

Отримано апріорні дані залежності інтенсивності вагового зношування епоксикомпозитного матеріалу фрикційного призначення від вмісту функціональних наповнювачів згідно з умовами варіювання в процесі побудови матриці планування експерименту. Визначено коефіцієнти регресії лінійної та парної взаємодії, а також їх значимість. Отримано математичну модель залежності інтенсивності вагового зношування епоксикомпозитного матеріалу від вмісту функціональних наповнювачів методом багатофакторного планування експерименту. Перевірено однорідність дисперсій та адекватність математичної моделі за критеріями Кохрена та Фішера. Оптимізовано склад епоксикомпозитного матеріалу методом крутого сходження за градієнтом по поверхні відгуку. Підвищено зносостійкість епоксикомпозитів в умовах експлуатації за середніх навантажувально-швидкісних режимах завдяки оптимізації вмісту термостійких різнофункціональних добавок. Досліджено структуру поверхні трибоконтакту та визначено функціональний вплив термостійких наповнювачів на інтенсивність вагового зношування та формування поверхні трибоконтакту.

Ключові слова: матриця планування, математична модель, рівні факторів, інтенсивність зношування, поверхня трибоконтакту.

Вступ. В умовах експлуатації за низьких навантажувально-швидкісних режимів добре зарекомендували себе композити на полімерній основі, зокрема епоксикомпозити, які широко використовуються в сучасній техніці. Завдяки високій технологічності та сумісності з модифікуючими добавками епоксидні смоли дозволяють формувати матеріали з комплексом керованих властивостей. Це досягається завдяки використанню наповнювачів різної природи (мінеральні, металеві, полімерні) та морфологічного складу (волокнисті, волокнисто-дискретні, дисперсні) [1]. Застосування мононаповнених систем у техніці є малоефективним, оскільки матеріал характеризується обмеженим комплексом властивостей. Це пов'язано з тим, що введення одного наповнювача в процесі створення епоксикомпозитних матеріалів не забезпечує одночасного підвищення широкого спектру фізико-механічних, теплофізичних та експлуатаційних характеристик. Аналіз результатів досліджень мононаповнених систем дозволяє встановити домінуючі характеристики полімеркомпозитів та оцінити ефективність введення добавок, що надає матеріалу свої переваги і недоліки. Так, зокрема, введення дискретних базальтових волокон забезпечує підвищення зносостійкості та термостійкості композитів [1], однак ударна міцність при цьому залишається низькою. Арамідне волокно забезпечує підвищення динамічних характеристик та термостійкості [2], однак надлишковий вміст різко підвищує в'язкість композиції, що знижує технологічність та ускладнює процес формування. З метою підвищення теплопровідності використовують дрібнодисперсний порошок алюмінію [3, 4], однак даний наповнювач схильний до агломерації, що ускладнює змочування частинок та знижує здатність полімерної матриці утворювати оптимальну кількість фізико-хімічних зв'язків з активними центрами на поверхні частинок. Кремнійорганічні лаки мають термостійкий ланцюг та бічні групи, які, за умови взаємодії з активними групами реакційноздатного олігомеру, утворюють додаткові хімічні зв'язки в результаті

покращення релаксаційної здатності забезпечує збільшення ударної в'язкості та термостійкості полімерної матриці [4]. Недоліком даного модифікатора є наявність у ньому толуолу, який забезпечує технологічну в'язкість олігомера, однак під час структурування полімеркомпозиту видаляється з утворенням порожнин. Використання даних наповнювачів не дозволяє одночасно визначити вплив кожного на характер структурування системи та прослідкувати поведінку параметра оптимізації [5–7]. Для дослідження комплексного впливу добавок на зносостійкість епоксикомпозитів використано метод багатофакторного планування експерименту, який полягав у побудові однорідної математичної моделі, що адекватно описує вплив вибраних факторів на зносостійкість розробленого епоксикомпозитного матеріалу [7–10].

Мета роботи. Оптимізувати склад епоксикомпозитного матеріалу методом крутого сходження за градієнтом по поверхні відгуку з використанням математичної моделі залежності інтенсивності вагового зношування від вмісту наповнювачів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити інтенсивність вагового зношування епоксикомпозитних матеріалів з визначеним вмістом функціональних наповнювачів згідно з умовами варіювання матриці планування експерименту;
- побудувати математичну модель залежності інтенсивності зношування від вмісту функціональних наповнювачів;
- оптимізувати склад полінаповненої епоксикомпозитної системи;
- дослідити структуру поверхні трибоконтакту епоксикомпозитного матеріалу оптимального складу та матеріалу з надлишковим вмістом функціональних наповнювачів.

Об'єкт дослідження. Математична модель залежності інтенсивності зношування епоксикомпозитного матеріалу від вмісту функціональних наповнювачів.

Предмет дослідження. Комплексний вплив функціональних наповнювачів на інтенсивність вагового зношування епоксикомпозитного матеріалу.

Матеріали та методика досліджень. Для розробки фрикційного епоксикомпозитного матеріалу використано наступні різнофункціональні добавки: порошок оксиду алюмінію Al_2O_3 (ГОСТ 5494-95), кремнійорганічний лак марки КО-915, скловолокно (ГОСТ 4640-93), арамідне (ГОСТ 33842-16) та базальтове волокно (ГОСТ 21880-94).

В якості полімерної матриці використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), структурування якої здійснено твердником холодної дії поліетиленполіаміном (ПЕПА ТУ6-05-241-202-78). З метою забезпечення технологічної в'язкості композиції використано дискретні волокна довжиною 2–3 мм. Формування дослідних зразків здійснювали методом пресування композиції із зусиллям 100 МПа. Підготовка стадія полягала у механічному вимішуванні попередньо просушених наповнювачів за температури 100 °С зі смолою за температури 20–25 °С. Попереднє структурування епоксикомпозитів тривало 24 год за кімнатної температури. Термічну обробку проведено за ступінчастим режимом для уникнення високих залишкових напружень: 50 °С та 100 °С з витримкою 1 год та 120 °С з витримкою 4 год.

Визначення інтенсивності зношування проведено на лабораторній установці за схемою «вал–сегмент втулки» в умовах тертя без мастильного середовища. Зразок установлено перпендикулярно до осі обертання контртіла, виготовленого зі сталі 40. Масу зразків визначено на аналітичних лабораторних вагах типу ВЛА-200 з точністю 0,001 г.

За параметр оптимізації (y) вибрано інтенсивність вагового зношування (I_g , 10^{-3} г/км), оскільки даний параметр є домінуючим у процесі розробки триботехнічного матеріалу.

Дослідження проводили за швидкості ковзання 1,2 м/с та питомого навантаження 1,0 МПа, що дозволило визначити інтенсивність зношування епоксикомпозитних матеріалів з різним ступенем наповнення, оскільки за режиму низьких значень навантажувально-швидкісних параметрів неможливо було зафіксувати зміну

досліджуваної характеристики, а в умовах високих значень даних параметрів відбувалось катастрофічне руйнування матеріалу.

З метою отримання надійних статистичних даних для кожного із показників здійснювали не менше 2-х паралельних випробувань. Зразки виготовляли із трьох партій виробів. Статистична обробка результатів експериментів дозволяє визначити з достатнім ступенем надійності досліджувані характеристики матеріалу за допомогою випробувань кінцевого числа зразків. Основними статистичними характеристиками, які використовували для первинної обробки даних, є середнє арифметичне значення, середнє квадратичне відхилення.

Якщо отримана лінійна модель адекватна, переходять до методу крутого сходження по поверхні відгуку. Найкоротший шлях досягнення оптимуму – рух по градієнту. Крок руху по градієнту вибирають таким, щоб його мінімальна величина була більша помилки, з якою фіксують фактор.

Основні результати. Мінімальне число варіантів експериментальних досліджень, що є необхідним і достатнім для побудови математичної моделі у вигляді лінійного рівняння регресії визначено згідно з формулою:

$$N=2^k=2^4=16, \quad (1)$$

де k – кількість факторів.

Факторами, які визначають зносостійкість високонаповнених композитних систем вибрано вміст різнофункціональних добавок (дискретних волокон, модифікатора, високодисперсного порошку) (табл. 1).

На основі аналізу результатів експериментальних досліджень з визначення твердості, адгезійної міцності та зносостійкості мононаповнених епоксикомпозитів було вибрано основний рівень та інтервал варіювання, а також визначено верхній та нижній рівні факторів.

Таблиця 1 – Рівні факторів і інтервали варіювання

Фактори	Рівні факторів			Інтервал варіювання
	Нижній рівень	Основний рівень	Верхній рівень	
X_1 – вміст дискретних базальтових волокон, мас. ч.	8	9	10	1
X_2 – вміст дискретних арамідних волокон, мас. ч.	1,5	2	2,5	0,5
X_3 – вміст кремнійорганічного лаку, мас. ч.	25	30	35	5
X_4 – вміст порошку алюмінієвої пудри, мас. ч.	9	10	11	1

Матрицю планування експерименту побудовано згідно з методологічним підходом, коли сукупність умов проведення кожного дослідів визначено згідно з правилами варіювання, що забезпечує поєднання усіх можливих комбінацій факторів (табл. 2).

Перевірку однорідності значень паралельних дослідів параметра оптимізації (табл. 3) проведено за допомогою критерію Кохрена згідно з формулою:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum S_{\gamma}^2} = \frac{0,1}{0,452} = 0,22, \quad (2)$$

де $S_{\max}^2$ – максимальна дисперсія; $\sum S_{\gamma}^2$ – сума всіх міжрядних дисперсій.

Таблиця 2 – Матриця планування і результати експерименту

№	X ₁		X ₂		X ₃		X ₄		Y ₁	Y ₂	$\bar{y}$
	Кодове значення	Натуральне значення, мас. ч.	Кодове значення	Натуральне значення, мас. ч.	Кодове значення	Натуральне значення, мас. ч.	Кодове значення	Натуральне значення, мас. ч.			
1	+1	10	+1	2,5	+1	35	+1	11	360	220	290
2	-1	8	+1	2,5	+1	35	+1	11	190	130	160
3	+1	10	-1	1,5	+1	35	+1	11	140	260	200
4	-1	8	-1	1,5	+1	35	+1	11	560	370	460
5	+1	10	+1	2,5	-1	25	+1	11	300	210	205
6	-1	8	+1	2,5	-1	25	+1	11	200	430	315
7	+1	10	-1	1,5	-1	25	+1	11	980	1150	1065
8	-1	8	-1	1,5	-1	25	+1	11	460	490	475
9	+1	10	+1	2,5	+1	35	-1	9	660	590	625
10	-1	8	+1	2,5	+1	35	-1	9	870	1070	970
11	+1	10	-1	1,5	+1	35	-1	9	630	930	780
12	-1	8	-1	1,5	+1	35	-1	9	190	220	205
13	+1	10	+1	2,5	-1	25	-1	9	310	200	255
14	-1	8	+1	2,5	-1	25	-1	9	550	400	475
15	+1	10	-1	1,5	-1	25	-1	9	550	760	655
16	-1	8	-1	1,5	-1	25	-1	9	340	280	310

Таблиця 3 – Результати розрахунку міжрядної дисперсії

	y ₁	y ₂	$\bar{y}$	Δy	$(\Delta y)^2$	S ² _i
1	3,2	1,4	2,3	0,9	0,81	1,62
2	2,4	3,8	3,1	-0,7	0,49	0,98
3	1,8	4,2	3	-1,2	1,44	2,88
4	3,4	1,2	2,3	1,1	1,21	2,42
5	4,6	3,2	3,9	0,7	0,49	0,98
6	11,8	14,2	13	-1,2	1,44	2,88
7	5,6	3,6	4,6	1	1	2
8	6,4	9,8	8,1	-1,7	2,89	5,78
9	7,2	9,8	8,5	-1,3	1,69	3,38
10	8,2	11	9,6	-1,4	1,96	3,92
11	2,4	4,6	3,5	-1,1	1,21	2,42
12	4	6,2	5,1	-1,1	1,21	2,42
13	16,4	19	17,7	-1,3	1,69	3,38
14	15,4	19,8	17,6	-2,2	4,84	9,68
15	13,2	14,6	13,9	-0,7	0,49	0,98
16	21,2	19,6	20,4	0,8	0,64	1,28

Оскільки розрахункове значення даного критерію ($G_p = 0,21$) не перевищує табличне значення ($G_T = 0,47$), гіпотеза однорідності дисперсій підтвердилась, що дозволило проводити подальші розрахунки коефіцієнтів регресії:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_i y_u}{N}; \quad (3)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{\gamma=1}^N x_{i\gamma} y_{\gamma}, \quad (4)$$

$$b_{il} = \frac{1}{N} \sum_{\gamma=1}^N x_{i\gamma} x_{l\gamma} y_{\gamma}, \quad (5)$$

Розрахунок коефіцієнтів регресії проведено згідно з формулою (3-5): $b_0 = 324$; $b_1 = 43,7$; $b_2 = 53,7$; $b_3 = -3,7$; $b_4 = -68$; $b_{12} = -0,111$; $b_{13} = -91$; $b_{14} = -0,6$; $b_{23} = 103$; $b_{24} = -100$; $b_{34} = -114$.

У результаті введення розрахункових значень коефіцієнтів регресії у стандартне рівняння отримаємо:

$$y = 324 + 43,7 x_1 - 53,7 x_2 - 3,7 x_3 - 68 x_4 - 0,111 x_1 x_2 - 91 x_1 x_3 - 0,6 x_1 x_4 + 103 x_2 x_3 - 100 x_2 x_4 - 114 x_3 x_4. \quad (6)$$

Перевірку значимості коефіцієнтів регресії здійснено за допомогою критерію Стьюдента (t_p), розрахункові значення якого виконано за формулою (4), де t_p вказано у табл. 4.

$$t_p = \frac{|b_i|}{S_b}. \quad (7)$$

Таблиця 4 – Розрахункові значення критерію Стьюдента для коефіцієнтів регресії

b_i	b_1	b_2	b_3	b_4	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{23}	b_{24}	b_{34}
t_p	1,5	1,9	0,13	2,6	-0,004	3,2	0,02	3,6	3,5	4,03
t_r	2,14									

Згідно з умовою $t_p > t_r$ значимими є коефіцієнти:

$$b_1 = 43,7; b_2 = -53,7; b_3 = -3,7; b_4 = -68; b_{13} = -91; b_{23} = 103; b_{24} = -100; b_{34} = -114.$$

Після видалення незначимих коефіцієнтів регресії отримано наступну математичну модель:

$$y = 324 - 68 x_4 - 91 x_1 x_3 - 103 x_2 x_3 - 100 x_2 x_4 - 114 x_3 x_4. \quad (8)$$

Гіпотезу адекватності отриманої математичної моделі (8) перевірено за критерієм Фішера:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} = \frac{1,06}{0,452} = 2,36. \quad (9)$$

Результати розрахунку дисперсії адекватності математичної моделі представлені у табл. 5.

Таблиця 5 – Розрахунок дисперсії адекватності

№	$\bar{y}_\gamma$	$\hat{y}_\gamma$	$\bar{y}_\gamma - \hat{y}_\gamma$	$(\bar{y}_\gamma - \hat{y}_\gamma)^2$
1	290	220	70	4900
2	160	134	26	676
3	200	141	59	3481
4	460	390	70	4900
5	205	251	-46	2116
6	315	298	17	289
7	1065	995	70	4900
8	475	495	-20	400
9	625	604	21	441
10	970	898	72	5184
11	780	705	75	5625
12	205	200	5	25
13	255	259	-4	16
14	475	490	-15	225
15	655	673	-18	324
16	310	303	7	49
$\sum_{\gamma=1}^N (\bar{y}_\gamma - \hat{y}_\gamma)^2 = 33,551$				

Оскільки розрахункове значення критерію Фішера, $F_p = 2,36$ і не перевищує табличне ($F_T=2,4$), тому можна вважати, що рівняння (8) є адекватним і його можливо використовувати для знаходження мінімального значення параметра оптимізації.

Використовуючи метод крутого сходження за градієнтом (табл. 6) встановлено, що мінімальне значення параметра оптимізації отримано в умовному досліді № 20. Оскільки подальший спуск призводить до підвищення значень інтенсивності зношування, отриманий результат у досліді № 20 вважали таким, що відповідає умові в поставленій задачі.

Таблиця 6 – Результати крутого сходження за градієнтом по поверхні відгуку

	Натуральні значення факторів				Значення параметра, I_g
	(X_1)	(X_2)	(X_3)	(X_4)	
Основний рівень	9,0	2,0	30	10	
b_γ	43,7	-53,7	-3,7	-68	
I_γ	1	0,5	5	1	
$b_\gamma \times I_\gamma$	43,7	-26,85	-18,5	-68	
Δ_γ	0,5	-0,3072	-0,2116	-0,777	
Округлення	0,5	-0,31	-0,21	-0,78	
Умовний дослід № 17	9,15	1,69	29,79	9,22	384
– // – №18	10	1,38	29,58	8,44	350
– // – №19	10,5	1,07	29,37	7,66	221
– // – №20	11	0,76	29,16	6,88	2,6
– // – №21	11,5	0,45	20,95	6,1	321
– // – №22	12	0,14	28,74	5,32	736

Поверхня трибоконтакту епоксикомпозиту з оптимальним вмістом добавок (рис. 1, а) має низьку шорсткість без видимих слідів руйнування трибоповерхні, що підтверджує високу зносостійкість епоксикомпозиту. Це пояснюється компактним розташуванням дискретних волокон та високодисперсних частинок у їх оптимальному

співвідношенні, що забезпечує формування високої фактичної площі трибоконтакту твердофазних добавок, зносостійкість яких вища зносостійкості матриці.

На поверхні трибоконтакту епоксикомпозита, який має максимальну інтенсивність зношування ($I_g = 736$ мг/км) (рис. 1, б), на трибоповерхні виявлено кратери невеликої глибини, що виникли через протікання процесів утворення магістральних тріщин та викришування локальних ділянок. На краю трибоконтакту зафіксовано ділянку сколювання, що вказує на високу крихкість епоксикомпозитного матеріалу.

Трибоповерхня епоксикомпозиту (рис. 1, в) з мінімальним вмістом дискретних волокон є рівною, що пояснюється однорідністю композиції, однак матеріал є крихким, що підтверджено крихким руйнуванням кромки.

Поверхня трибоконтакту (рис. 1, г) з максимальним вмістом дискретних волокон характеризується наявністю пор, заповнених повітрям, яке потрапило до композиту на стадії перемішування композиції і через високу в'язкість залишилося в матеріалі. Дані пори мають розміри 3–5 мкм і знижують міцнісні характеристики епоксикомпозита.

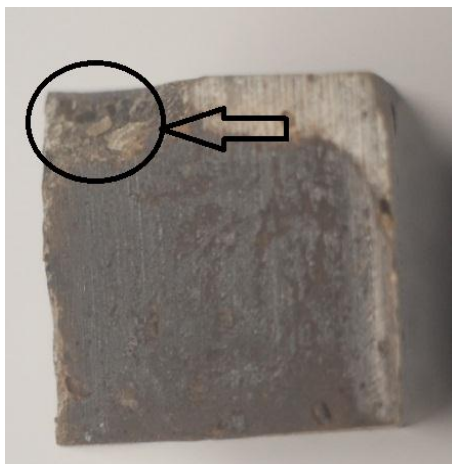
За умови недостатнього вмісту в епоксикомпозитах включень порошку алюмінію, відбувається локалізація теплоти в поверхневому шарі, що спричиняє його пластичну деформацію. В подальшому відбувається деструкція епоксиполімерної матриці в зоні трибоконтакту та інтенсивне її руйнування.



а



б



в



г

Рисунок 1 – Поверхня трибоконтакту епоксикомпозитів:

а – оптимальний вміст добавок; б – надлишковий вміст добавок; в – мінімальний вміст дискретних волокон; г – максимальний вміст дискретних волокон

Базальтові волокна в епоксикомпозиті забезпечують термостійкість, однак надлишок даного наповнювача призводить до втрати впорядкованості дискретних волокон в об'ємі матриці та зумовлює появу напруженого стану.

Макромолекули кремнійорганічного лаку мають високу термодинамічну сумісність з епоксидною матрицею, що дозволяє формувати оптимальну структурну сітку модифікованої епоксиолімерної матриці, що сприяє сповільненню процесів термодеструкції модифікованого полімеру в зоні трибоконтакту.

Арамідне волокно виконує армуючу функцію, оскільки тонкі дискретні волокна забезпечують утворення додаткових хімічних зв'язків завдяки взаємодії між макромолекулами матриці та активними центрами на поверхні волокна. Збільшення вмісту армувальної фази, що характеризується високою питомою енергією зумовлює підвищення фізико-механічних властивостей даних епоксикомпозитів.

Висновок. Побудована математична модель є адекватною згідно з критерієм Фішера, що дозволило провести оптимізацію складу епоксикомпозитного матеріалу фрикційного призначення. Введення до складу епоксиолімерної матриці оптимального вмісту функціональних наповнювачів (порошок алюмінію – 6,8 мас.ч.; базальтове волокно –

11 мас. ч.; арамідне волокно – 0,7 мас. ч.; кремнійорганічний лак – 29,2 мас. ч.) забезпечує мінімальну інтенсивність зношування епоксикомпозитів ($I_g = 2,6$ мг/км) за середнього навантажувально-швидкісного режиму трибозаємодії (швидкість ковзання 1,2 м/с, питоме навантаження 1,0 МПа).

Висока зносостійкість розробленого фрикційного матеріалу визначається формуванням термо- і зносостійкої структури за оптимального вмісту різнофункціональних добавок в епоксиолімерній матриці, в якій частинки наповнювачів рівномірно розподілені з утворенням міцних адгезійних зв'язків та формуванням низького напруженого стану.

Перспективність досліджень полягає у проведенні експериментальних досліджень із визначення інтенсивності зношування за різних навантажувально-швидкісних режимах експлуатації розробленого епоксикомпозитного матеріалу, а також дослідженні структури поверхневого трибошару та структурних перетворень у процесі фрикційної взаємодії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Богданович П. Н., Прушак В. Я. Трение и износ в машинах : учеб. для вузов. Москва : Выш. шк., 1999. 374 с.
2. Трибологія / Кіндрачук М. В., Лабунець В. Ф., Пашечко М. І., Корбут Є. В. Київ : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. 392 с.
3. Барбарина Т. М., Сухов М. П., Шелудяков Н. А. Стекловолоконистые строительные материалы. Москва : Издательство литературы по строительству, 1968. 316 с.
4. Гоголева О. В., Петрова П. Н., Попов С. Н., Охлопкова А. А. Износостойкие композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и базальтовых волокон. *Трение и износ*. 2015. Том 36, № 4. С. 301–305..
5. Гутников С. И., Лазорак Б. И., Селезнев А. Н. Стекловолоконные волокна. Москва, 2010. 406 с.
6. Закалов О.В., Закалов І.О.. Основи тертя і зношування в машинах : навчальний посібник. Тернопіль : Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. 322 с.
7. Косторнов А. Г. Триботехническое материаловедение. Луганск: Видавництво «Ноулидж», 2012. 696 с.
8. Наполнители для полимерных композиционных материалов : справочное пособие; пер. с англ. / под ред. П.Г. Бабаевского. Москва : Химия, 1981. 736 с.
9. Красновский Н. Исследование пропитки волокнистых наполнителей в процессе пултрузии полимерных композиционных материалов. *Технология и оборудование машиностроительного производства*. 2011. Т. 2, № 25. С. 50–53.
10. Трофимов Н. Н., Канович М. З., Карташов Э. М. Физика композиционных материалов. В 2-х т. Москва : Мир, 2005. Т. 1. 456 с.; Т. 2. 344 с.

REFERENCES

1. Bogdanovich, P. N. & Prushak, V. Ya. (1999). *Trenie i iznos v mashinakh : ucheb. dlya vuzov*. Moskva : Vishha shkola.
2. Kindrachuk M. V., Labunecj V. F., Pashechko M. I., Korbuto E. V. (2009). *Tribologiya*. Kiev : Vid-vo Nac. aviac. un-tu «NAU-druk».
3. Barbarina, T. M., Sukhov, M. P., Sheludyakov, N. A. (1968). *Steklovoloknistihe stroiteljnihe materialih*. Moskva : Izdatelstvo literaturih po stroitelstvu.
4. Gogleva, O. V. & Petrova P. N., Popov S. N., Okhlopko A. A. (2015). Iznosostoykie kompozicionnihe materialih na osnove sverkhvisokomolekulyarnogo poliehtilena i bazaljtovihkh volokon. *Trenie i iznos*. Vol. 36, № 4. 301–305.
5. Gutnikov, S. I., Lazoryak, B. I., Seleznev, A. N. (2010). *Steklyanihe volokna*. Moskva.
6. Zakalov, O. V., Zakalov, I. O. (2011). *Osnovi tertya i znoshuvannya v mashinakh : navchaljniy posibnik*. Ternopil : Vidavnictvo TNTU im. I. Pulyuya.
7. Kostornov, A. G. (2012). *Tribotekhnicheskoe materialovedenie*. Lugansk : Vidavnictvo «Noulidzh».
8. Babaevskiy, P. G. (Ed.). (1981). *Napolniteli dlya polimernihkh kompozicionnihkh materialov : spravocnoe posobie*. Moskva : Khimiya.
9. Krasnovskiy, N. (2011). Issledovanie propitki voloknistihkh napolniteley v processe pultruzii polimernihkh kompozicionnihkh materialov. *Tekhnologiya i oborudovanie mashinostroitel'nogo proizvodstva*. T. 2, № 25. 50–53.
10. Trofimov, N. N., Kanovich, M. Z. & Kartashov, Eh. M. (2005). *Fizika kompozicionnihkh materialov*. V 2-kh t. Moskva : Mir. T. 1. 456 s.; T. 2. 344 s.

Савчук П. П., Кашицкий В. П., Люшук А. М., Матрунчик Д. М., Удовницкая Ю. А. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПОЛИНАПОЛНЕННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИКОМПОЗИТОВ

Получены априорные данные зависимости интенсивности весового износа эпоксикомпозитного материала для фрикционных изделий от содержания функциональных наполнителей согласно условиям варьирования в процессе построения матрицы планирования эксперимента. Определены коэффициенты регрессии линейной и парного взаимодействия, а также их значимость. Получена математическая модель зависимости интенсивности весового износа эпоксикомпозитного материала от содержания функциональных наполнителей методом многофакторного планирования эксперимента. Проверена однородность дисперсий и адекватность математической модели по критериям Кохрена и Фишера. Оптимизирован состав эпоксикомпозитного материала методом крутого восхождения по градиенту по поверхности отклика. Повышена износостойкость эпоксикомпозитов в условиях эксплуатации при средних нагрузочно-скоростных режимах за счет оптимизации содержания термостойких разнофункциональных добавок. Исследована структура поверхности трибоконтакта и определено функциональное влияние термостойких наполнителей на интенсивность весового износа и формирования поверхности трибоконтакта.

Ключевые слова: матрица планирования, математическая модель, уровни факторов, интенсивность изнашивания, поверхность трибоконтакта.

Savchuk P. P., Kashytskyi V. P., Liushuk O. M., Matrunchyk D. M., Udovyt'ska Yu. A. OPTIMIZATION OF POLY-FILLED SYSTEM BASED ON EPOXYCOMPOSITES

We have obtained a priori the data on the dependence of the intensity of weight wear on the epoxycomposite material of the frictional assignment on the content of the functional fillers in accordance with the variation conditions in the process of constructing the experiment experimentation matrix. The coefficients of the regression of linear and pair interaction, as well as their significance, are determined. The mathematical model of the dependence of the weight of wear on the epoxycomposite material on the content of functional fillers is obtained by the method of multifactorial planning of the experiment. The homogeneity of dispersions and the adequacy of the mathematical model according to the Cochran and Fisher criteria are checked. The composition of the epoxycomposite material is optimized by the method of steep climbing along the gradient along the response surface. The durability of epoxy composites has been increased in conditions of operation at medium load-speed modes due to optimization of the content of heat-resistant multi-functional additives. The structure of the tribocontact surface is investigated and the functional effect of thermostable fillers is determined on the intensity of weight wear and the formation of tribocontact surface.

Keywords: matrix of planning, mathematical model, factor levels, intensity of wear, surface of tribocontact.

© Савчук П. П., Кашицкий В. П., Люшук О. М., Матрунчик Д. М., Удовицька Ю. А.

Статтю прийнято до редакції 05.05.18

МЕХАНІЧНИЙ ПРИВІД РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛА СУДНОВОГО МАЛООБЕРТОВОГО ДВИГУНА

Самарін О. Є., к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, e-mail: kaf_energo@ksma.ks.ua, ORCID: 0000-0002-6304-0777

Пропонується механічний привід розподільного вала виконати у вигляді конічних редукторів, установлених на колінчастому і розподільному валах, та з'єднаних проміжним валом через компенсувальні муфти. Це дозволяє застосовувати закриті редукторні передачі, кожна з яких має масляну ванну для змащування зубчастих зачеплень та підшипників. Зубчасте зачеплення має високу кінематичну точність і не вимагає додаткових регулювальних робіт або заміни в процесі експлуатації. З'єднання конічних редукторів проміжним валом дозволяє забезпечити передачу крутного моменту на значну відстань, яка характерна для потужних суднових малообертових двигунів. Застосування компенсувальних муфт забезпечує відсутність додаткових осьових, радіальних та кутових навантажень на вали та підшипники редукторів. Редукторний привід працює наступним чином. Крутний момент з колінчастого вала через конічні редуктори, проміжний вал та компенсувальні муфти передається на розподільний вал та приводить його у рух. Компенсувальні муфти компенсують осьові, радіальні та кутові відхилення між осями конічних редукторів. Крутний момент з колінчастого вала через конічні редуктори, проміжний вал та компенсувальні муфти передається на розподільний вал та приводить його у рух. Виконано розрахунок редукторного приводу розподільного вала головного двигуна MAN B&W 8K90MC-C6.

Ключові слова: механічний привід, розподільний вал, конічний редуктор, компенсувальна муфта, проміжний вал.

Вступ. Відомий ланцюговий привід розподільного вала суднового малообертового двигуна, що складається з провідної та веденої зірочок, а також натяжного, демпферного та напрямного пристосування [1].

Ланцюговий привід використовують при великій відстані між осями колінчастого і розподільного валів, коли шестерінчастий привід вийшов би громіздким і дорогим.

Недоліком такого приводу є складність. Для змащування ланцюга застосовується спеціальна система мащення, яка подає мастило під тиском на ланки ланцюга. Доступ мастила до тертьових поверхонь ланок ланцюга ускладнено, що пов'язано з особливостями конструкції ланцюга. Тертя у ланках ланцюга призводить до їх зношування та збільшення загальної довжини ланцюга, що порушує кінематичну точність передачі та призводить до порушень у роботі двигуна. Тому ланцюг періодично замінюється на новий, що підвищує трудомісткість обслуговування передачі. При русі ланцюга виникають додаткові інерційні навантаження на передачу та шум.

Враховуючи масове використання на суднах потужних малообертових двигунів, проблема підвищення кінематичної точності передачі, зниження трудомісткості обслуговування та шуму, а також збільшення строку експлуатації лишається актуальною.

Аналіз конструкції механічних приводів розподільного вала. У суднових двигунах привід розподільного вала здійснюється від колінчастого вала. Передавальне число для чотиритактних дизелів $i = 1/2$, для двотактних $i = 1/2$ [1].

Конструкція приводу залежить від розташування розподільного вала: при верхньому розташуванні (над циліндровими кришками), характерному для ВОД, застосовують валковий привід з конічними або гвинтовими шестернями; при нижньому і середньому – шестерінний привід.

Для зменшення розмірів шестерень приводи виготовляють з проміжними шестернями (рис. 1, а). Проміжна шестерня 3 знаходиться в зачепленні з провідною шестернею 4-колінчастого вала і з відомою шестернею 2 розподільного вала.

Так як у чотиритактного дизеля частота обертання розподільного вала повинна бути у 2 рази менше частоти обертання колінчастого вала, то шестерня 2 має удвічі більший діаметр, ніж шестерня 4 (проміжна шестерня 3 на передавальне число впливу не робить). Від шестерні 2 наводиться також вал регулятора частоти обертання 1.

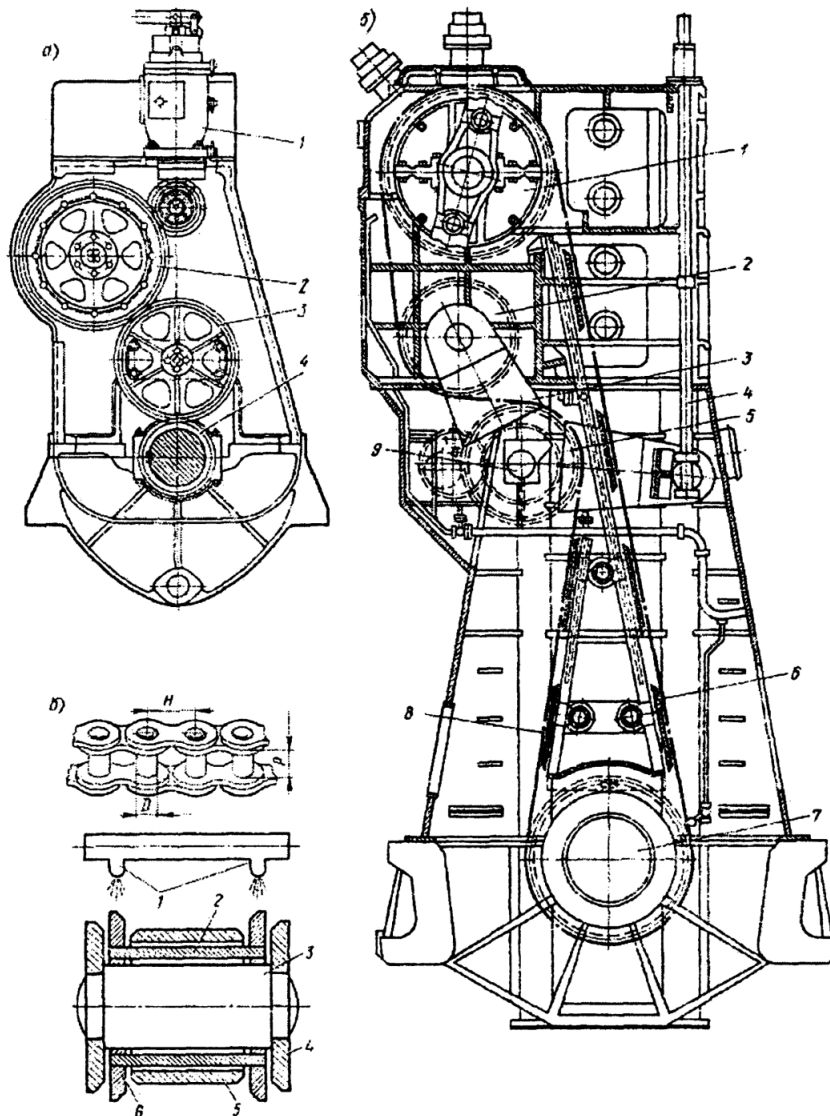


Рисунок 1 – Конструкції механічних приводів розподільного вала

Ланцюговий привід (рис. 1, б) використовують при великій відстані між осями колінчастого і розподільного валів, коли шестерінчастий привід вийшов би громіздким і дорогим.

Провідна зірочка 7 колінчастого вала з'єднується із зірочкою 1 розподільного вала трьома одинарними ланцюгами 6. Зірочка 5 є напрямною і використовується для приводу розподільника повітря, лубрикаторів і регулятора частоти обертання. Зірочка 2, закріплена в кронштейні 3, слугує для на-тяжіння ланцюга. Натяг здійснюється поворотом кронштейна 3 навколо осі 9 проти годинникової стрілки. Тяга 4, що навантажена потужною пружиною, передає зусилля на кронштейн 3. Ланцюги рухаються по сталевих напрямних рейках 8, облицьованих гумою, що запобігає поперечні коливання ланцюгів. Осі всіх зірочок і ланцюга змащуються маслом.

У нових конструкціях МОД використовуються гідравлічні натягувачі ланцюгів. Змащення ланцюгів здійснюється маслом, що подається на них за допомогою сопел.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Як видно з проведеного аналізу, недоліки ланцюгового приводу виходять з особливостей його конструкції і не можуть бути усунені шляхом доопрацювання наявного конструктиву.

Суттєве покращення роботи приводу також неможливе, та як умови експлуатації суднового двигуна не дозволяють цього зробити.

Оптимальним варіантом рішення поставленої задачі є заміна приводу на більш досконалий.

Мета та задачі проведення досліджень. Розробити такий привід розподільного вала суднового малообертового двигуна, у якому кінематична точність механічної передачі між колінчастим та розподільним валами зберігається протягом усього періоду експлуатації двигуна, а трудомісткість обслуговування передачі, інерційні навантаження та шум зменшуються.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз конструкції наявних механізмів приводу розподільного вала та встановити причини виникнення недоліків.

Рішення поставленої задачі. Пропонується механічний привід виконати у вигляді конічних редукторів, установлених на колінчастому і розподільному валах, та з'єднаних проміжним валом через компенсувальні муфти (рис. 2).

Виконання механічного приводу у вигляді конічних редукторів, встановлених на колінчастому і розподільному валах, дозволяє застосовувати закриті редукторні передачі, кожна з яких має масляну ванну для змащування зубчастих зачеплень та підшипників. Зубчасте зачеплення має високу кінематичну точність і не вимагає додаткових регулювальних робіт або заміни в процесі експлуатації.

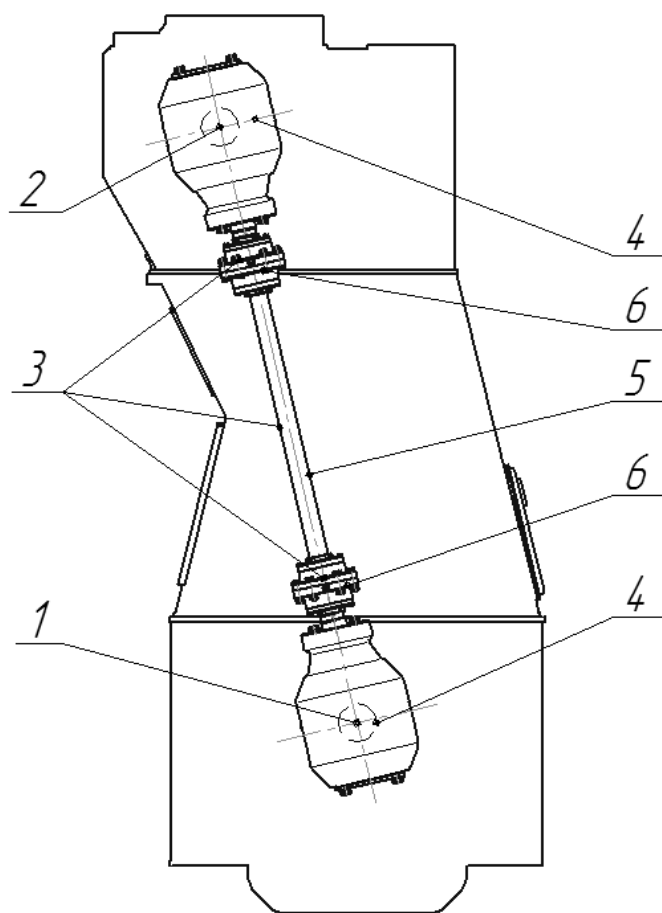


Рисунок 2 – Редукторний привід розподільного вала:

1 – колінчастий вал; 2 – розподільний вал; 3 – механічний привід; 4 – конічний редуктор; 5 – проміжний вал; 6 – компенсувальна муфта

З'єднання конічних редукторів проміжним валом дозволяє забезпечити передачу крутного моменту на значну відстань, яка характерна для потужних суднових малообертових двигунів.

Застосування компенсувальних муфт забезпечує відсутність додаткових осьових, радіальних та кутових навантажень на вали та підшипники редукторів.

Редукторний привід складається з колінчастого 1 та розподільного 2 валів, з'єднаних механічним приводом 3, який виконано у вигляді конічних редукторів 4, установлених на колінчастому 1 і розподільному 2 валах, та з'єднаних проміжним валом 5 через компенсувальні муфти 6.

Редукторний привід працює наступним чином.

Крутний момент з колінчастого вала 1 через конічні редуктори 4, проміжні вали 5 та компенсувальні муфти 6 передається на розподільний вал 2 та приводить його у рух. Компенсувальні муфти 6 компенсують осьові, радіальні та кутові відхилення між осями конічних редукторів 4.

Передавальне число редукторного приводу розраховується за виразом:

$$i = i_1 \times i_2,$$

де i_1, i_2 – передавальне число відповідно першого та другого редукторів.

Загальне передавальне число всієї передачі має бути для чотиритактних дизелів $i = 1/2$, а для двотактних $i = 1$.

Розрахунок редукторного приводу розподільного вала головного двигуна MAN B&W 8K90MC-C6. Вихідні дані для розрахунку:

- тип передачі: конічна;
- частота обертання колінчастого вала двигуна: $n_{\partial\partial} = 104 \text{ хв.}^{-1}$;
- обертальний момент на вихідному валу редуктора: $T_{вих} = 14 \text{ кНм}$;
- частота обертання другого (вихідного) вала: $n_2 = 65 \text{ хв.}^{-1}$;
- термін служби редуктора у роках: $L = 10 \text{ років}$;
- коефіцієнт завантаження редуктора протягом року: $K_{рік} = 0,8$;
- коефіцієнт завантаження редуктора протягом доби: $K_{доб} = 0,8$.

Передавальне відношення редуктора:

$$u = \frac{n_{\partial\partial}}{n_2} = \frac{104}{65} = 1,6.$$

Частота обертання першого (вхідного) вала: $n_1 = n_{\partial\partial}$.

Частота обертання другого (вихідного) вала:

$$n_2 = \frac{n_1}{u} = \frac{104}{1,6} = 65 \text{ хв.}^{-1}$$

Розрахункове число зубів шестерні визначаємо залежно від величини передавального відношення передачі:

$$Z'_1 = 22 - 9 \lg(u) = 22 - 9 \lg 1,6 = 20,164.$$

Значення Z'_1 округляємо до цілого числа $Z_1 = 20$ за правилами математики.

Розрахункове число зубів колеса, необхідне для реалізації передавального числа, визначаємо за залежністю:

$$Z_2 = Z_1 u = 20 \times 1,6 = 32.$$

ККД конічного редуктора становить $\eta = 0,96$.

Момент, що обертає (навантажувальний момент) на вихідному валу редуктора $T_2 = T_{вих} = 14000 \text{ Нм}$.

На вхідному валу:

$$T_1 = \frac{T_2}{u \cdot \eta} = \frac{14000}{1,6 \cdot 0,96} = 9114,58 \text{ Нм}.$$

Потужність на вихідному валу редуктора, кВт:

$$P_{вих} = \frac{T_{вих} \cdot n_2}{9550} = \frac{14000 \cdot 65}{9550} = 95,28,$$

де $T_{вих}$ – крутний момент вихідного вала, кВт.

Розрахункова потужність, необхідна для приводу редуктора:

$$P'_{\partial\partial} = \frac{P_{вих}}{\eta} = \frac{95,28}{0,96} = 99,25 \text{ кВт}.$$

Марку сталі для зубчастого колеса можна вибрати залежно від твердості. Орієнтовно твердість сталі можна визначити за залежністю:

$$HB' = 7000 \cdot \sqrt{\frac{T_1}{d_{\partial e}^3}} = 7000 \cdot \sqrt{\frac{9114,58}{120^3}} = 508,38,$$

де T_1 – крутний момент на входному валу редуктора, Нм; $d_{\partial e}$ – діаметр входного вала редуктора, мм.

Величину HB округляємо до цілого числа (в більший бік), кратну 10: HB = 510. З таблиці вибираємо: марка сталі – сталь 45, вид термообробки – покращення, межа міцності $\sigma_e = 750 \text{ МПа}$.

Виходячи з умов експлуатації та видів пошкоджень зубчастих коліс, розрахуємо допустимі напруження на контактну $[\sigma_H]$ і згинальну $[\sigma_F]$ витривалість для найбільш слабкої ланки в передачі.

Такою ланкою для конічних передач є шестерня, яка має найбільшу кількість циклів навантаження протягом заданого терміну служби приводу L .

Для визначення фактичної кількості циклів навантаження провідної шестерні за весь період експлуатації N_Σ необхідно знати сумарний час роботи передачі в годинах t_Σ , який визначається за формулою:

$$t_\Sigma = 365 \cdot L \cdot K_{\text{рік}} \cdot 24 \cdot K_{\text{доб}} = 365 \cdot 10 \cdot 0,8 \cdot 24 \cdot 0,8 = 56064 \text{ год},$$

де L – термін служби редуктора в роках; $K_{\text{рік}}$ – коефіцієнт завантаження редуктора протягом року; $K_{\text{доб}}$ – коефіцієнт завантаження редуктора протягом доби.

N_Σ визначається з формули:

$$N_\Sigma = 60 \cdot t_\Sigma \cdot n_1 = 60 \cdot 56064 \cdot 104 = 349839360 \text{ об.},$$

де n_1 – частота обертання вала шестерні.

Допустимі напруження на контактну витривалість визначають за формулою:

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{HO}}{S_H} K_{HL} = \frac{1090}{1,1} 1,0 = 990 \text{ МПа},$$

де σ_{HO} – межа контактної витривалості, МПа, яку визначають за залежністю:

$$\sigma_{HO} = 2 \cdot HB + 70 = 2 \cdot 510 + 70 = 1090 \text{ МПа},$$

де S_H – коефіцієнт запасу контактної міцності; K_{HL} – коефіцієнт довговічності; розраховують за залежністю:

$$K'_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_\Sigma}} = \sqrt[6]{\frac{94469078,132}{349839360}} = 0,803,$$

де N_{HO} – базове число циклів:

$$N_{HO} = 30 \cdot (HB)^{2,4} = 30 \cdot (510)^{2,4} = 94469078,132.$$

Діапазон значень знаходиться в межах $1,0 \leq K_{HL} \leq 2,4$. Оскільки розрахований коефіцієнт $K'_{HL} < 1$, то приймаємо $K_{HL} = 1,0$.

Допустимі напруження на згинальну витривалість визначають за формулою:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{FO}}{S_F} K_{FL} = \frac{918}{1,75} 1,0 = 524,57 \text{ МПа},$$

де σ_{FO} – межа згинальної витривалості, МПа; визначають залежно від твердості матеріалу HB:

$$\sigma_{FO} = 1,8 \cdot HB = 1,8 \cdot 510 = 918 \text{ МПа},$$

де S_F – коефіцієнт запасу згинальної міцності; K_{FL} – коефіцієнт довговічності; розраховують за залежністю:

$$K'_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{\Sigma}}} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{349839360}} = 0,474,$$

де N_{FO} – базове число циклів.

Діапазон значень знаходиться в межах $1,0 \leq K_{FL} \leq 2,0$. Оскільки розрахований коефіцієнт $K'_{FL} < 1$, то приймаємо $K_{FL} = 1,0$.

Зовнішній ділительний діаметр шестерні (попереднє значення), мм:

$$d'_{e1} = 1816 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 \cdot K_H}{[\sigma_H]^2 \cdot u}} = 1816 \cdot \sqrt[3]{\frac{9114,58 \cdot 1,2}{990^2 \cdot 1,6}} = 347 \text{ мм},$$

де K_H – коефіцієнт навантаження, що враховує нерівномірність її розподілу; в розрахунку з достатнім ступенем точності можна прийняти $K_H = 1,2$.

Попередній модуль передачі:

$$m'_e = \frac{d'_{e1}}{Z_1} = \frac{347}{20} = 17,3.$$

За розрахунковою величиною приймаємо найближче більше стандартне значення модуля $m_e > m'_e$, $m_e = 18$.

Зовнішня конусна відстань, мм:

$$R_e = \frac{m_e \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2}}{2} = \frac{18 \cdot \sqrt{20^2 + 32^2}}{2} = 339,62 \text{ мм}.$$

Діаметр зовнішнього ділительного кола шестерні d_{e1} і колеса d_{e2} :

$$d_{e1} = m_e \cdot Z_1 = 18 \cdot 20 = 360 \text{ мм},$$

$$d_{e2} = m_e \cdot Z_2 = 18 \cdot 32 = 576 \text{ мм}.$$

Діаметр зовнішнього кола вершин зубів шестерні d_{ae1} і колеса d_{ae2} :

$$d_{ae1} = d_{e1} + 2m_e \cos \delta_1 = 360 + 2 \cdot 18 \cdot \cos 32,01^\circ = 390,52 \text{ мм},$$

$$d_{ae2} = d_{e2} + 2m_e \cos \delta_2 = 576 + 2 \cdot 18 \cdot \cos 57,99^\circ = 595,08 \text{ мм},$$

де δ_1 і δ_2 – кути ділительних конусів, град., рівні:

$$\delta_2 = \arctg(u) = \arctg 1,6 = 57,99^\circ$$

$$\delta_1 = 90^\circ - \delta_2 = 90^\circ - 57,99^\circ = 32,01^\circ$$

Розрахункова ширина зачеплення коліс, мм:

$$b' = 0,285 \cdot R_e = 0,285 \cdot 339,62 = 96,76 \text{ мм}.$$

Розрахункове значення округлюємо до цілого числа b в більший бік. Ширина зубчастих коліс приймається рівною:

$$b_1 = b_2 = b = 97 \text{ мм}.$$

Зовнішня висота зуба h_e :

$$h_e = 2,2 \cdot m_e = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ мм}.$$

Зовнішня висота головки зуба h_{ae} :

$$h_{ae} = m_e = 18 \text{ мм}.$$

Для уникнення можливих помилок в обчисленнях при проєктному розрахунку перевіряють виконання умови контактної витривалості:

$$\sigma_H = 75170 \cdot \sqrt{\frac{T_1 \cdot K_H}{d_{e1}^3 \cdot u}} \leq [\sigma_H];$$

$$\sigma_H = 75170 \cdot \sqrt{\frac{9114,58 \cdot 1,2}{360^3 \cdot 1,6}} = 909,89 \leq 990 \text{ МПа}.$$

Умова виконується, отже, розрахунок правильний.

Перевірочний розрахунок передачі. Визначаємо робочі напруження вигину, які мають бути не більше тих, що допускаються за залежністю:

$$\sigma_F = \frac{3200 \cdot T_1 \cdot K_F \cdot Y_F}{d_{e1} \cdot b_1 \cdot m_e} \leq [\sigma_F];$$

$$\sigma_F = \frac{3200 \cdot 9114,58 \cdot 1,3 \cdot 3,96}{360 \cdot 97 \cdot 18} = 238,87 \leq 524,57 \text{ МПа},$$

де K_F – коефіцієнт навантаження при згині, що враховує нерівномірність його розподілу і динамічний характер.

Для коліс сьомого ступеня точності виготовлення можна прийняти $K_F = 1,3$; Y_F – коефіцієнт форми зубів шестерні, визначається за залежністю:

$$Y_F = \frac{2 - 8 \cdot \cos \delta_1 / Z_1}{0,55 - 3,1 \cdot \cos \delta_1 / Z_1} = \frac{2 - 8 \cdot \cos 32,01^\circ / 20}{0,55 - 3,1 \cdot \cos 32,01^\circ / 20} = 3,96.$$

Умова згинальної міцності виконується, розрахунок правильний.

Вибір і розрахунки муфти проводять за розрахунковими значеннями крутного моменту T_p .

$$T_p = T_{\text{ном}} \cdot K_{\text{пер}}.$$

де $T_{\text{ном}}$ – номінальний момент, переданий муфтою (при розрахунку вибирається з результатів кінематичного розрахунку); $K_{\text{пер}}$ – коефіцієнт перевантаження для нашого випадку $K_{\text{пер}} = 1$.

Муфту вибирають таким чином, щоб момент муфти T був більше розрахункового T_p ($T > T_p$).

У редукторному приводі розподільного вала встановлено муфти на вхідному і вихідному валах, які передають відповідні моменти

$$T_1 = 9114,58 \text{ Нм і } T_2 = 14000 \text{ Нм}.$$

Тому вибираємо муфти:

- муфта 16000-115-1 У2 ГОСТ 50895-96 – на вхідний вал;
- муфта 16000-134-1 У2 ГОСТ 50895-96 – на вихідний вал.

Перевірочний розрахунок зубчастої муфти. Знос зубів муфти протягом ресурсу слід вважати допустимим, якщо на робочих поверхнях середній контактний тиск становить:

$$p = \frac{2000 \cdot T_p \cdot k_H}{b \cdot h \cdot D_d \cdot z} \leq [p],$$

де k_H – коефіцієнт концентрації навантаження, $k_H = 1$; b – довжина зуба, мм; h – робоча висота зуба, мм; $[p]$ – допустимий тиск, $[p] = 12 \dots 15 \text{ МПа}$; z – число зубів напівмуфти; m – модуль зачеплення, мм; D_d – діаметр діляльного кола напівмуфти:

$$D_d = mz = 4 \times 48 = 192 \text{ мм}.$$

Розрахунок проведемо для більш навантаженого вихідного вала.

$$p = \frac{2000 \cdot 14000 \cdot 1}{30 \cdot 10 \cdot 192 \cdot 48} = 10,12 \leq [p] = 12 \dots 15 \text{ МПа.}$$

Умова міцності муфти виконується.

Висновки та рекомендації. Застосування редукторного приводу дозволить забезпечити необхідну кінематичну точність механічного приводу між колінчастим та розподільним валами протягом усього періоду експлуатації двигуна, зменшити трудомісткість обслуговування передачі, інерційні навантаження та шум.

Редукторний привід рекомендується застосовувати у потужних малообертових двигунах (МОД), що мають значну відстань між колінчастим та розподільним валами.

Для приводу малообертового двигуна застосовано редуктори з конічними прямозубими колесами. У цих редукторів допустима окружна швидкість (по розділювальному колу середнього діаметра) $v \leq 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

При використанні редукторної передачі на двигунах СОД і ВОД з більш високими швидкостями рекомендують застосовувати конічні колеса з круговими зубцями, що забезпечують більш плавне зачеплення і велику несучу здатність.

У якості компенсувальних муфт рекомендується застосовувати саме зубчасті муфти. Вони не пом'якшують поштовхи, але забезпечують кінематичну точність при передачі крутного моменту. Крім того, такі муфти здатні передавати значний крутний момент, що характерно для суднових двигунів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Возницкий И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания, том. 1: М. Моркнига, 2008. 282 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. – М.: Машиностроение: В 3-х т. 1982. Т. I – 728 с.; Т. II – 559 с.; Т. III – 557 с.
3. Иванов М.Н. Детали машин. Учебник для вузов. Изд. 3-е, доп. и перераб. М., «Высш. школа», 1976, - 399 с.
4. Детали машин. Соединительные муфты: справочное пособие / сост. Н. Г. Таровик, Т. А. Кулик, Е. С. Котушенко. – Краматорск: ДГМА, 2013. – 35 с.

REFERENCES

1. Voznickiy I.V. Sudovihe dvigateli vnutrennego sgoraniya, tom. 1: M. Morkniga, 2008. 282 s.
2. Anurjev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya.-6-e izd. M.: Mashinostroenie: V 3-kh t. 1982. T. I – 728 s.; T. II – 559 s.; T. III – 557 s.
3. Ivanov M.N. Detali mashin. Uchebnik dlya vuzov. Izd. 3-e, dop. I pererab. M., «Vihssh. shkola», 1976, - 399 s.
4. Detali mashin. Soediniteljnihe muftih: spravochnoe posobie / sost. N. G. Tarovik, T. A. Kulik, E. S. Kotushenko. Kramatorsk: DGMA, 2013. – 35 s.

Самарин А. Е. МЕХАНИЧЕСКИЙ ПРИВОД РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ВАЛА СУДОВОГО МАЛООБОРОТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Предлагается механический привод распределительного вала выполнить в виде конических редукторов, установленных на коленчатом и распределительном валах, и соединенных промежуточным валом через компенсирующие муфты. Это позволяет применить закрытые редукторные передачи, каждая из которых имеет масляную ванну для смазывания зубчатых зацеплений и подшипников. Зубчатое зацепление имеет высокую кинематическую точность и не требует дополнительных регулировочных работ или замены в процессе эксплуатации. Соединение конических редукторов промежуточным валом позволяет обеспечить передачу крутящего момента на значительное расстояние, которое характерно для мощных судовых малооборотных двигателей. Применение компенсирующих муфт обеспечивает отсутствие дополнительных осевых, радиальных и угловых нагрузок на валы и подшипники редукторов. Редукторный привод работает следующим образом. Крутящий момент с коленчатого вала через конические редукторы, промежуточный вал и компенсирующие муфты передается на распределительный вал и приводит его в движение.

Компенсирующие муфты компенсируют осевые, радиальные и угловые отклонения между осями конических редукторов. Крутящий момент с коленчатого вала через конические редукторы, промежуточный вал и компенсирующие муфты передается на распределительный вал и приводит его в движение.

Выполнен расчет редукторного привода распределительного вала главного двигателя MAN B & W 8K90MS-C6.

Ключевые слова: механический привод, распределительный вал, конический редуктор, компенсирующая муфта, промежуточный вал.

Samarin O. E. THE MECHANICAL DRIVE CAMSHAFT ENGINE LOW-SPEED SHIP

Proposed mechanical drive camshaft perform as bevel gears mounted on cranked and distributive shaft and intermediate shaft connected via compensating couplings. This allows you to use closed transmission gear, each of which has an oil bath lubrication of gears and bearings. Gear engagement has high kinematic accuracy and requires no additional adjustment work or replacement during operation. Connections bevel gear intermediate shaft enables transfer of torque at a considerable distance, which is characteristic for powerful low-speed marine engines. The use of compensating couplings provides no additional axial, radial and angular shaft loads on the bearings and gears. Reducing the drive works as follows. Torque of the crankshaft through bevel gears, and compensating intermediate shaft coupling is transmitted to the camshaft and leads him in motion. Compensating couplings compensate for axial, radial and angular deviation between the axes of bevel gears. Torque of the crankshaft through bevel gears, and compensating intermediate shaft coupling is transmitted to the camshaft and leads him in motion.

The calculation of gear drive camshaft main engine MAN B & W 8K90MS-C6.

Keywords: mechanical drive, camshaft, conical reducer, compensating clutch, the intermediate shaft.

© Самарін О. Є.

Статтю прийнято
до редакції 20.05.18

УДК 621.318

ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ВЫРАВНИВАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ЗАГОТОВКИ В ИИС С ОДНИМ ВИТКОМ

Шиндерук С. А., к.т.н., доцент кафедры физики Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, e-mail: s.shinderuk.2016102@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6354-4174

С помощью индукционной индукторной системы проведены исследования по выравниванию вмятины на ферромагнитной и неферромагнитной заготовках. Результаты применения эффекта притяжения являются идентичными, что косвенно подтверждает мысль об основной роли взаимодействия однонаправленных токов, наряду с действующими магнитным притяжением и Лоренцевским отталкиванием. Предложен механизм, поясняющий возможные причины эффекта притяжения при частотах до 2 КГц: выполняется накачивание индукционного тока во вмятину до тех пор, пока максимально последняя не будет заполнена вихревыми центробежными токами, и как следствие, притянута к экрану инструмента. Определено, что притяжение становится возможным при низких частотах до 2кГц, когда скорость накачки тока выше скорости его диффузии в контуре. Повышение рабочей частоты приводит к тому, что эффект притяжения сменяется отталкиванием.

Ключевые слова: притяжение, рихтовка, индукторная система, магнитно-импульсная обработка.

Постановка задачи. В настоящее время для рихтовки кузовов автомобилей используется индукционные индукторные системы (ИИС) как инструменты магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ). В основу этого способа положено притяжение заготовки к рабочему инструменту.

Вместе с тем эффект притяжения был неожиданно экспериментально обнаружен в 2004г. профессорами Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» Батыгиным Ю. В., Лавинским В. И., Хименко Л. Т. [1] при исследовании процессов отталкивания (при увеличении частоты до 7 кГц и выше образец отталкивался с образованием выпуклости согласно традиционным представлениям о процессах при МИОМ). При частотах действующих полей ниже 2 кГц имело место притяжение с образованием вмятины тонкой стальной пластины к рабочей поверхности индуктора-инструмента. Другими словами, притяжение и отталкивание варьируется в зависимости от частоты тока питания.

Несмотря на большое обилие публикаций на эту тему, у авторов нет единого убедительного представления о физике процесса. Мы поставили себе задачу исследовать возможные причины обнаруженного эффекта.

Анализ последних исследований и публикаций. Объяснению упомянутого выше эффекта с теоретическим и экспериментальным подтверждением достоверности посвящены многочисленные работы [1, 2]. Не вдаваясь в подробности, можно ограничиться констатацией того, что в основном используются частичные представления об описываемом эффекте и нет единства в понимании происходящего процесса.

Например, в [3] «В основу традиционной технологии магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ) положено силовое взаимодействие токов индуктора и вихревых токов заготовок, имеющих один и тот же характер вариации во времени, но противоположно направленных. При частотах действующих полей 15-70 кГц, которые используются в традиционной МИОМ, возникают силы магнитного давления пропорциональные квадрату возбуждающего тока и направленные строго от индуктора к заготовке...»

В то же время авторами ряда работ, например [4, 5], «...было показано, что временная зависимость пондеромоторных сил может иметь знакопеременный характер, что приводит к изменению направленности силового воздействия на заготовку в процессе обработки. Объяснением отмеченных противоречий может быть изменение временных характеристик вихревых токов, зафиксированное в экспериментах, которые проводились в частотном диапазоне 1,5–7 кГц».

Другой автор в [6] утверждает: «Создание действенных индукторных систем – инструментов метода требует адекватных представлений о характере происходящих электродинамических процессов. В первую очередь, речь идёт о возбуждении вихревых токов в заготовках, их взаимодействии с током индуктора, возбуждении сил магнитного давления и соответствующих расчётных соотношениях.

Во всех известных научных публикациях, как современных, так и прошлых лет, теоретические исследования и расчёты базируются на традиционных представлениях МИОМ о характере протекающих электромагнитных процессов [7]. В основе этих представлений лежат выводы, хорошо известные в электродинамике и полученные для массивных, хорошо проводящих металлических объектов. Это представления о характере возбуждаемых вихревых токов, о возникающих силовых эффектах взаимодействия с ними внешних магнитных полей, то есть появлении в конечном итоге, так называемых, пондеромоторных сил».

Цель работы – выяснение механизма эффекта притяжения при МИОМ.

Постановка задания. Исходные данные эксперимента:

1. Ферромагнитная заготовка – листовая сталь кузовной панели автомобиля Subaru толщиной 0,8 мм, с круговой вмятиной: диаметром 40 мм и глубиной ~ 2 мм.

2. Источник мощности – магнитно-импульсная установка МИУС-2.

Технические характеристики МИУС-2:

- запасаемая энергия $W \sim 2$ кДж;
- напряжение питающей сети $\sim 380/220$ В.
- ёмкость конденсаторов – $C = 1200$ мкФ;
- собственная частота – $f_0 \sim 7$ кГц;
- собственная индуктивность – $L \sim 440 \div 500$ нГн;
- напряжение заряда ёмкостных накопителей $U \sim 100 \div 2100$ В;
- частота следования разрядных импульсов $f_{\text{имп}} \sim 1 \div 10$ Гц;
- тип коммутаторов – тиристорные ключи;
- режим работы:

а) аperiodический (разрядный импульс унipoлярной формы);

б) колебательный (разрядный импульс – затухающая синусоида).

3. Инструмент внешней рихтовки – индукционная индукторная система (ИИС) цилиндрической геометрии с основным круговым витком.

4. Рабочая частота – 1,2 кГц.

Рассматривалась расчётная модель исследуемой ИИС в цилиндрической системе координат и решалась с помощью уравнений Максвелла [8]. Схема рихтовки, в соответствии с которой проводился эксперимент, приведена на рис. 1.

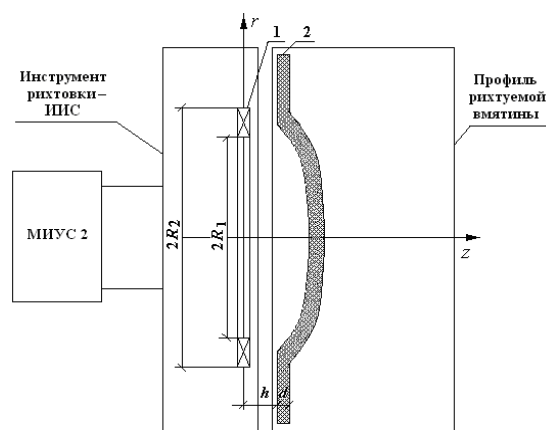


Рисунок 1 – Схема рихтовки:

1 –основной виток индуктора; 2 – заготовка; R_1 и R_2 – внутренние и внешние радиусы соответственно; d и h – расстояние от основного витка индуктора до заготовки

Результаты измерения индуцированного тока в ферромагнитной заготовке при частоте индуцирующего тока 1,2 кГц и напряжении 200 В представлены на рис. 2 [9, 10].

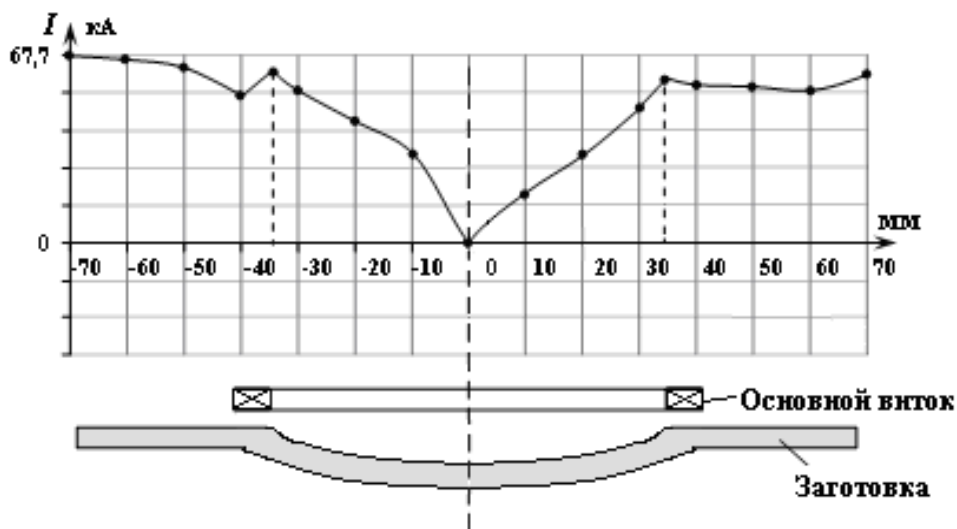


Рисунок 2 – Распределение индуцированного тока в ферромагнитной заготовке

Как видно из графика на рисунке, максимальные значения наведенных вихревых (индуцированных) токов наблюдаются в том месте, где находится виток ИИС, в приближении к центру происходит постепенный спад этого максимума.

1. Попробуем представить себе картину выравнивания полусферической вмятины на ферромагнитной заготовке (контуре) рис. 3, по мере увеличения степени силового воздействия.

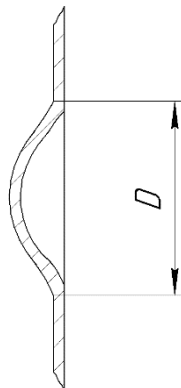


Рисунок 3 – Профиль полусферической вмятины ферромагнитной заготовки

Характерные действия и происходящие процессы при проведении рихтовки условно разделим на 3 стадии силового воздействия и рассмотрим ниже.

Первая стадия силового воздействия. Поскольку соленоид в ИИС имеет форму круга, то и наведенный ток в заготовке круговой и имеет такое же направление. Об этом свидетельствуют максимумы на графике (рис. 2) – они находятся четко в зоне витка.

На рис. 4 и 5 показано распределение токов в горизонтальной проекции и сделаны следующие обозначения: центробежные вихревые токи – ЦБВТ; «зеркальное» кольцо индукционного тока – ЗКИТ.

На первой стадии никакого притяжения по всей рабочей зоне не происходит (рис.4а и рис.5а). Да и не может произойти из-за слабой «накачки» электронного газа внутрь кольца тока. Сила внутри кольца закручивает ток к центру – назовем ее центростремительной. Сила же, действующая с внешней стороны кольца, является центробежной и раскручивает вихревые токи к периферии контура.

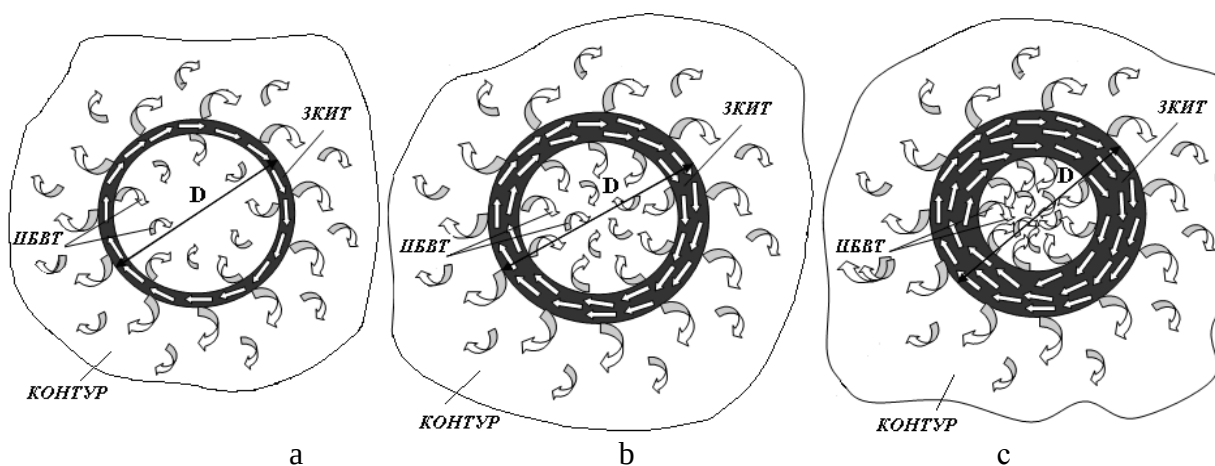


Рисунок 4 – Распределение токов по стадиям силового воздействия:

а – первая стадия, б – вторая стадия, с – третья стадия

Вторая стадия силового воздействия. По сути, это продолжение первой стадии, т.е. сила внутри кольца продолжает закручивать ток к центру, а с внешней стороны кольца вихревые токи продолжают диффундировать в контур, однако уже на этом этапе достигая определенной максимальной скорости диффундирования (рис. 4 б и рис. 5 б).

Внутри кольца току диффундировать некуда, он как бы замкнут своим же движением, образуя кольцо, зеркально отображающее кольцо индуктора.

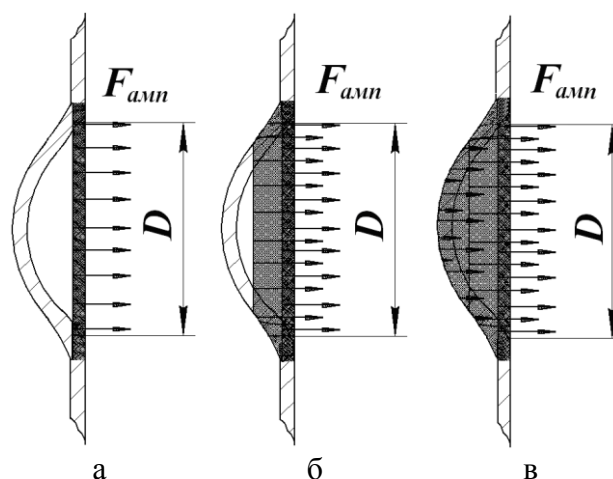


Рисунок 5 – Схема увеличения концентрации индуцируемого тока в центре кольца (профильная проекция):

а – первая стадия силового воздействия; б – вторая стадия силового воздействия; в – третья стадия силового воздействия

Третья стадия силового воздействия. Ток в «зеркальном» кольце продолжает циркулировать: снаружи диффундировать в контур, при этом скорость диффундирования уже не увеличивается, а внутри вмятины накапливаться. Такое накопление тока приводит к увеличению ширины «зеркального» кольца (рис. 4в. и рис. 5в).

Когда же начинается процесс притяжения в остальной рабочей зоне? Он начнется, когда концентрация тока в «зеркальном» кольце станет достаточно высокой для того, чтобы начал работать закон Ампера, т.е. закон притяжения проводников (контуров) с равнонаправленными токами. Этим объясняется вид кривой на рис. 2: слева от точки -1 до точки -0,25 и справа от точки 0,75 до точки 0,25. Эти интервалы соответствуют габаритам кольца, в зоне которого происходит притяжение. В самом центре кольца ток нулевой, каким, впрочем, по нашим предположениям, он и должен быть, а снаружи, за пределами кольца индуктора, ток снижается к периферии контура.

Понятно, что для разных материалов контура и степень силового воздействия в виде вариации количества импульсов, делающих возможным амперовское притяжение, будет

разным. На рис. 6 представлены результаты измерения индуцированного тока в неферромагнитной заготовке при частоте индуцирующего тока 1,2 кГц и напряжении 200В.

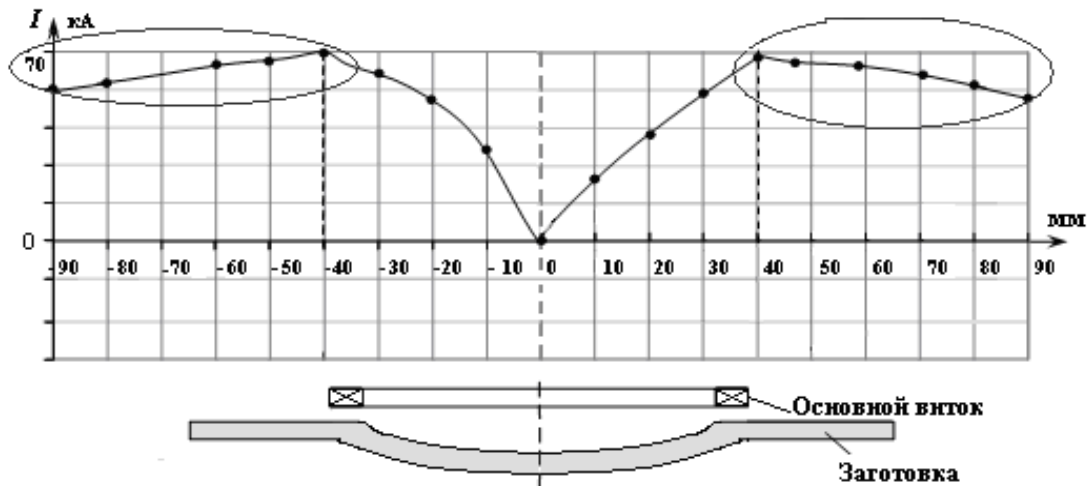


Рисунок 6 – Распределение индуцированного тока в неферромагнитной заготовке

Из рис. 6 видно, что распределение индуцированного тока в неферромагнитной заготовке аналогично такому же распределению в ферромагнитной заготовке (рис. 2). Однако (при полном совпадении максимумов токов) все же в случае неферромагнитной заготовки наблюдается более резкий спад к периферии контура (выделено на рис. 6).

Как показал эксперимент, и ферромагнитная, и неферромагнитная [11] заготовки ведут себя аналогичным образом.

Подытожив полученные результаты, хотелось бы отметить следующее: задача притяжения будет решена только в том случае, если индукционный ток, благодаря низким рабочим частотам и конструкции ИИС (закон Ампера), накопится во вмятине и максимально заполнит ее пространство. Т.е. скорость подачи импульсов или их количество должны быть настолько дозированными, что бы индукционный ток успевал накапливаться во вмятине, а соответственно скорость диффундирования тока в контур должна быть меньше скорости его накачки. Если же установить рабочую частоту свыше 2 кГц, ток не будет успевать задерживаться в ней, т.к. будет интенсивно диффундировать в окружающее пространство и соответственно притяжение сменится отталкиванием, что характерно для МИОМ.

Еще одним важным моментом является то, что в начале рихтовки может идти только наполнение вмятины вихревыми зарядами, запирающие ее внешними вихревыми токами, и только после их накопления до определенной концентрации внутри вмятины становится возможной организация их в единый поток («зеркальное» кольцо индукционного тока), и раскручивание этого потока. При этом происходит притяжение заготовки к инструменту, так как обеспечивается модель согласно закону Ампера, а именно образуется два кольца равнонаправленного тока: одно – в витке инструмента, второе – во вмятине.

Отметим также то обстоятельство, что говоря о заготовке в виде полусферы, мы подразумеваем «идеальную» вмятину, но если же она таковой не является, то все равно она будет охватываться зеркальным кольцом в виде потока зарядов.

Перспективы дальнейших исследований процесса притяжения, на наш взгляд, заключаются в оптимизации процесса рихтовки, и в частности, повышения КПД путем определения необходимых рабочих характеристик тока и частоты, предельной скорости диффундирования тока, части энергии, переходящей в тепло, а не в полезную работу и т.д.

Выводы. Основные результаты проведенного исследования сводятся к следующим положениям.

1. С помощью индукционной индукторной системы проведены исследования по выравниванию вмятины на ферромагнитной и неферромагнитной заготовках. Результаты

применения эффекта притяжения являются идентичными, что косвенно подтверждает мысль об основной роли взаимодействия однонаправленных токов (электродинамическое притяжение по закону Ампера), наряду с действующими магнитным притяжением (в ферромагнитной заготовке) и Лоренцевским отталкиванием (при повышении рабочей частоты).

2. Предложен механизм, поясняющий возможные причины эффекта притяжения при частотах до 2 кГц: выполняется накачивание индукционного тока во вмятину до тех пор, пока максимально последняя не будет заполнена вихревыми центробежными токами, и, как следствие, притянута к экрану инструмента.

3. В соответствии с предложенным механизмом, притяжение становится возможным при низких частотах до 2 кГц, когда скорость накачки тока выше скорости его диффузии в контур. Повышение рабочей частоты приводит к тому, что эффект притяжения сменяется отталкиванием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Direction Change of the Force Action upon Conductor under Frequency Variation of the Acting magnetic Field: proceedings of the 1-st International Conference [«High Speed Metal Forming»], (Dortmund, March 31/April 1, 2004) / Yu. V. Batygin, V. I. Lavinsky, L. T. Khimenko // Dortmund, Germany. 2004. – pp. 157–160.

2. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями: монография / А. Н. Туренко, Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов. – Харьков : ХНАДУ, 2009 – 240 с.

3. Вихревые токи в тонких металлических листах при их магнитно-импульсной обработке / Батыгин Ю.В., Лавинский В.И., Бондаренко А.Ю. // Электричество. – 2009. – №9. – С. 61–65.

4. Индукционное ускорение проводников и высокоскоростной привод / Андреев А.Н., Бондалетов В.Н. // Электричество. – 1973. – № 10. – С. 36–41.

5. Элементы теории и численного расчета электромагнитных процессов в проводящих средах / А.Д. Подольцев, И.Н. Кучерявая. – Киев : Изд. института электродинамики НАНУ, 1999. – 362 с.

6. Анализ электродинамических процессов в цилиндрических индукторных системах–инструментах магнитно-импульсной рихтовки : монография / А. В. Гнатов. – Харьков, 2013. – 292 с.

7. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / Белый И.В., Фертик С.М., Хименко Л.Т. // Харьков: Высшая школа. 1977. – 190 с.

8. Анализ электромагнитных процессов в индукторной системе – инструменте рихтовки автомобильных кузовов / Ю. В. Батыгин, Е. А. Чаплыгин, С. А. Шиндерук // Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – № 2. – С. 53–56.

9. Экспериментальные исследования процессов в индукторной системе с притягивающим экраном при введении дополнительного витка / Ю. В. Батыгин, Е. А. Чаплыгин, С. А. Шиндерук // Електротехніка і електромеханіка. – 2014. – № 5. – С. 58–61.

10. Вихревые токи в плоских листовых заготовках / Ю. В. Батыгин, Е. А. Чаплыгин // Електротехніка і електромеханіка. – 2006. – №5. – С. 54–59.

11. Анализ процессов в индукционной индукторной системе с идентичными листовыми немагнитными металлами: materialy X Mezinarodni vedecko-prakticka conference [«Moderni vymozenosti vedy- 2014» Technicke vedy]. (Praha, 27 ledna – 05 unora 2014 roku) [Текст] / А. В. Гнатов, С. А. Шиндерук, М. В. Барбашова // Praha : Publishing House «Education and Science» s.r.o, 2014. – Dil 39. – 88 stran. – pp. 8–13.

REFERENCES

1. Direction Change of the Force Action upon Conductor under Frequency Variation of the Acting magnetic Field: proceedings of the 1-st International Conference [«High Speed Metal Forming»], (Dortmund, March 31/April 1, 2004) / Yu. V. Batygin, V. I. Lavinsky, L. T. Khimenko // Dortmund, Germany. 2004. – pp. 157–160.
2. Ympulsnye mahnytnye polia dlia prohressyvnikh tekhnolohiyi. Tom 3. Teoryia y eksperyment prytyazheniya tonkostennykh metallov ympulsnymy mahnytnymy poliamy: monohrafiya / A. N. Turenko, Yu. V. Batyhyn, A. V. Hnatov. Kharkiv: KhNADU, 2009 – 240 s.
3. Vikhrevye toki v tonkikh metallicheskih listakh pri ikh magnitno-impul'snoi obrabotke [Tekst] / Batygin Iu.V., Lavinskii V.I., Bondarenko A.Iu. // Elektrichestvo. – 2009. – №9. – S. 61–65.
4. Induktsionnoe uskorenie provodnikov i vysokoskorostnoi privod / Andreev A.N., Bondaletov V.N. // Elektrichestvo. – 1973. – № 10. – S. 36–41.
5. Elementy teorii i chislennogo rascheta elektromagnitnykh protsessov v provodiashchikh sredakh [Tekst] / Podol'tsev A.D., Kucheriavaia I.N. Kiev: Izd. Instituta elektrodinamiki NANU, 1999. – 362 s.
6. Analiz elektrodinamicheskikh protsessov v tsilindricheskikh induktornykh sistemakh–instrumentakh magnitno-impul'snoi rikhtovki : monografiia / A. V. Gnatov. Khar'kov: 2013. – 292 s.
7. Spravochnik po magnitno-impul'snoi obrabotke metallov / Belyi I.V., Fertik S.M., Khimenko L.T. Khar'kov: Vishcha shkola, 1977. – 189 s.
8. Analiz elektromagnitnykh protsessov v induktornoi sisteme – instrumente rikhtovki avtomobil'nykh kuzovov / Iu. V. Batygin, E. A. Chaplygin, S. A. Shinderuk // Elektrotehnika i elektromekhanika. –2015. – № 2. – S. 53–56.
9. Eksperimental'nye issledovaniia protsessov v induktornoi sisteme s pritiagivaiushchim ekranom pri vvedenii dopolnitel'nogo vitka / Iu. V. Batygin, E. A. Chaplygin, S. A. Shinderuk // Elektrotehnika i elektromekhanika. – 2014. – № 5. – S. 58–61.
10. Vikhrevye toki v ploskikh listovykh zagotovkakh [Tekst] / Iu. V. Batygin, E. A. Chaplygin // Elektrotehnika i elektromekhanika. – 2006. – №5. – S. 54-59.
11. Analiz protsessov v induktsionnoi induktornoi sisteme s identichnymi listovymi nemagnitnymi metallami: materialy X Mezinarodni vedecko-prakticka conference [«Moderni vymozhenosti vedy- 2014» Technicke vedy]. (Praha, 27 ledna – 05 unora 2014 roku) [Tekst] / A. V. Gnatov, S. A. Shinderuk, M. V. Barbashova. Praha : Publishing House «Education and Science» s.r.o, 2014. – Dil 39. – 88 stran. – pp. 8–13.

Шиндерук С. О. ФІЗИЧНА СУТНІСТЬ ПРОЦЕСУ ВИРІВНЮВАННЯ ФЕРОМАГНІТНОЇ ЗАГОТОВКИ В ІВС З ОДНИМ ВИТКОМ

За допомогою індукційної індукторної системи проведені дослідження з вирівнювання вм'ятини на феромагнітній та неферомагнітній заготовках. Результати застосування ефекту притягання є ідентичними, що посередньо підтверджує думку про основну роль взаємодії односпрямованих струмів, поряд з діючими магнітним притяганням і Лоренцевським відштовхуванням. Запропоновано механізм, що пояснює можливі причини ефекту притягання при частотах до 2 кГц: виконується накачування індукційного струму у вм'ятину доти, поки максимально остання не буде заповнена вихровими відцентровими струмами, і як наслідок, притягнута до екрану інструмента. Визначено, що притягання стає можливим при низьких частотах до 2кГц, коли швидкість накачування струму вище швидкості його дифузії в контур. Підвищення робочої частоти призводить до того, що ефект притягання змінюється відштовхуванням.

Ключові слова: притягання, рихтування, індукторна система, магнітно-імпульсна обробка.

Shinderuk S. A. THE PHYSICAL ESSENCE OF THE ALIGNMENT PROCESS OF A FERROMAGNETIC WORKPIECE IN A SINGLE TURN IIS

Investigation of straighten the dents on the ferromagnetic and non-ferromagnetic billet have been carried out with the help of an induction inductor system. The results of applying the effect of attraction were identical, which indirectly confirms the idea of the main role of the interaction of unidirectional currents, along with the acting magnetic attraction and the Lorentz repulsion. A mechanism is proposed that explains the possible causes of the attraction effect at frequencies up to 2 kHz: the induction current is pumped into the dent until the maximum is filled with vortex centrifugal currents and, as a consequence, is attracted to the tool screen. It is determined that the attraction becomes possible at low frequencies up to 2 kHz, when the pumping rate of the current is higher than the rate of its diffusion into the circuit. Increasing the operating frequency leads to the fact that the effect of attraction is replaced by repulsion.

Keywords: attraction, straightening, inductor system, magnetic-pulse processing.

© Шиндерук С. О.

Статтю прийнято
до редакції 18.04.18

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ПРОБЛЕМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ ВИРУСОВ ПРОНИКНОВЕНИЯ

Вильский Г. Б., к.т.н., доцент Херсонской государственной морской академии, e-mail: g.vilsky@gmail.com;

Радов А. А., инженер Международного технологического университета «Николаевская политехника», e-mail: alexradovbulgar@gmail.com

Рассмотрены результаты исследования опасностей троянских вирусов проникновения, проявляющихся в виде технического изменения файловых систем компьютеров, копирования информации по запросу или выкачивания из Интернет вредоносных кодов с их распаковкой и запуском с жесткого информационного диска компьютера. Обоснована сочетаемость проявлений троянского вируса и желания киберпреступников управлять компьютерами в системах и сетях на расстоянии. Предлагается оценочный подход к установлению уязвимости компьютерной системы и сети, основанный на теоретическом моделировании.

Ключевые слова: атака, вирус, вредоносная программа, информация, киберпреступность, компьютер, сайт, сервер, троян.

Постановка проблемы. Глобализация международных отношений стимулирует переход на цифровую экономику. Эти процессы коснулись и морской критической инфраструктуры. Растет компьютерная инженерия стивидорных компаний, морских портов, судов и т.п. Учитывая эту тенденцию, сотрудники морской инфраструктуры отчётливо понимают, что информационная безопасность цифрового обмена данными находится под постоянной угрозой компьютерных вредоносных программ (ВП), наносящих в большинстве случаев серьёзный и значительный ущерб их основной деятельности. Входящие в ВП загрузочные троянские вирусы относятся к компьютерным вирусам проникновения. Множество их разновидностей способно глубоко укореняться в системах с целью хищения данных и других злоумышленных воздействий. Этот тип вирусов обладает уникальными возможностями при выполнении определённых компьютерных и сетевых процедур, реализовывать свой код, что в конечном итоге приводит к нанесению вреда информационной безопасности компании. Описанная проблематика и связанное с ней решение актуальных задач по развитию современных информационных, коммуникационных технологий отражено в Постановлении КМУ от 18.10.2017 № 980 «Некоторые вопросы определения среднесрочных приоритетных направлений инновационной деятельности общегосударственного уровня на 2017–2021 года».

Анализ последних публикаций и постановка задачи исследования. Киберзащищённость цифровой коммуникативной среды, объектов критической информационной инфраструктуры, систем цифрового управления и коммерции достаточно широко освещается в специализированных научных журналах и трудах конференций, а законодательно представлено в документе [1]. Ретроспектива возникновения и совершенствования вирусных ВП, описанная в учебном пособии [2], отражается с акцентом на глобальный негативный охват систем и сетей. Классическая теория формирования и обнаружения вредоносного программного кода достаточно полно приведена в работе [3]. Большинство публикаций о троянских вирусах проникновения отмечают их способность к репродуцированию и реализации функции нанесения ущерба путем запуска программ уничтожения доступной информации, переформатирования жёстких дисков и изменения конфигурации компьютеров, что детально отмечается в работах [2, 4]. О настоящем состоянии киберэпидемии ВП говорится в работе [5]. Ближайшее будущее прогнозируется ускоренным развитием таких эпидемий с целью нанесения беспримерных, существенных ущербов. Такое состояние станет реальным благодаря масштабным результатам изучения и предварительного анализа состояния сетей передачи данных, оформленного в виде списка наиболее уязвимых компьютеров для лавинообразного вирусного заражения других компьютеров. Инструментом противодействия созданию и распространению вирусных ВП

представляется разработка методов предсказания заражённостей и моделирование мер противодействия с устранением уязвимостей компьютеров [6]. Возможные и основные математические модели прогнозирования возникновения и распространения ВП в информационных базах вычислительных систем приводятся в [7]. Рассмотренные публикации позволяют сделать вывод о том, что защищённость компьютеров и сетей зависит от чёткости представления условий возникновения и особенностей проявления особо опасных троянских вирусов проникновения. Для выявления научно-практических подходов устранения проблемы требуется выполнение исследований, направленных на решение задач существенной минимизации угроз и рисков ВП компьютерным мощностям производственно-экономических систем.

Цель статьи. Представление полученных результатов исследований по оценке проблем возникновения и особенностям проявления вирусов проникновения в компьютерных системах семейства Windows и сетях.

Изложение материалов исследования. В настоящей работе будут рассмотрены троянские вирусы проникновения в ВП, наносящие ущерб кибернетическому оснащению морской критической инфраструктуре. Исследование проводилось методами экспертных оценок, дескриптивного анализа и обобщения собственной экспериментальной практики защитных мер по предупреждению кибератак и вредоносного воздействия таких троянских вирусов проникновения, как Backdoor, Trojan-PSW, LNK/Agent, Rootkit, Krepper. Структура и функциональное соответствие этих троянских вирусов отвечает большей части современных вредоносных программ.

Понимая, что каждый троянский вирус пишется специально для выполнения конкретной зловредной функции, проведенная работа позволила сформулировать и систематизировать основные цели и задачи создания и распространения ВП с троянскими вирусами проникновения.

В зловредных, корыстных целях хакеры стремятся к изменению количественного и качественного состояния информационного контента, хранящегося в киберпространстве морской инфраструктуры. Также ставятся задачи доступа третьих лиц к базам данных (БД) с информацией конфиденциального характера, с целью её использования и/или изменения. Это включает организацию несанкционированного рассмотрения личной информации, сбор конфиденциальных данных, налоговых номеров и банковских счетов и др. При этом хакеры, как правило, стремятся реализовать дистанционное управление взломанными компьютерными средствами. На рис.1 показана простейшая хакерская схема реализации ВП с троянским вирусом проникновения.



Рисунок 1 – Реализационная схема ВП с троянским вирусом проникновения

На 1-м етапі заказчик кіберпреступлення (КП) ставить задачу сообщнику-розробчнику і фінансує створення вірусної програми, яку намірен продвигать посредством сайтів своїх соучастников. Это могут быть продукты, ссылки или другие вирусы. На 2-м этапе размещают продукты, ссылки и другие вирусы на сайте, распространяющем вирусы, для постоянного открытия и представления к реагированию на данную ссылку.

На 3-м этапе пользователь компьютера поражения при скачивании информации или переходя по ссылкам, попадает на сайт с заранее запрограммированным вредным действием, и начинается процесс заражения.

На 4-м этапе пользователь заражённого компьютера, не подозревая о том, что он реализует функциональные задания ВП, включая выкачивание следующих вирусов и выдачу личных данных. Выдача данных, по количеству сайтовых переходов и эффективности ВП, передаётся заказчику КП на 5 этапе. Благодаря работе сайтов соучастников КП их собственники получают коммерческую выгоду (этап 5) с её завершением на 6 этапе.

Особенности проявления троянских вирусов проникновения характеризуются высокой результативностью и жизнеспособностью. Такая вирусная программа, как правило, находящаяся внутри другой внешне безобидной программы, при запуске устанавливается в систему. Кроме скачивания конфиденциальной информации, троянский вирус также может использоваться в процессе так называемых DoS-атак для блокирования работы компьютерных сетей противника, выполнения роли шпионской программы, при отправлении конфиденциальной информации третьей стороне.

Одна из основных особенностей проявления троянских ВП состоит в том, что сами они не размножаются, а потому инфицирование компьютерной системы возможно только при запуске вручную. Другая отличительная особенность этих вирусов «троянов» заключается в том, что после активизации они продолжают поддерживать связь с разработчиком, в то время как вирусы других типов функционируют обособленно. Данная особенность позволяет разработчику улучшать и обновлять вредоносную программу, делая ее еще опаснее. Отмеченные особенности затрудняют их обнаружение для антивирусного противодействия. Существующее множество разновидностей троянских ВП способно глубоко укореняться в компьютерных системах для хищения необходимых данных. В операционной системе Windows одним из признаков вирусного поражения файлов является появление ярлыков вместо существовавших ранее папок. Стоит только их запустить, и угроза начнет распространяться по компьютеру. Проявления троянских ВП разнообразны, а именно: диски начинают заполняться оставшимися фрагментами других файлов; появляются лишние процессы, потребляющие оперативную память; вводимая с клавиатуры информация отправляется на удаленные серверы злоумышленников.

Для бизнеса морской критической инфраструктуры под угрозой автоматически становится безопасность БД. Изменяются уровни доступа для всех клиентов, от неограниченных возможностей до выборочного блокирования.

На распределенных компьютерных телекоммуникациях судоходной отрасли, включая и бортовые электронные средства морских судов, проверяются новейшие модели атак и отрабатываются способы противодействия. Рассмотрение кибербезопасности морских компьютерных телекоммуникаций подобно тому, как это проводится в классическом выполнении [2], предусматривает наличие в системах определённого числа уязвимых и поражённых компьютеров, которые осуществляют преднамеренные информационные воздействия-атаки. Предполагается, что с течением времени при отсутствии атак поврежденная система восстанавливается с некоторой скоростью прироста уязвимых компьютеров. Таким образом подразумевается достижение отсутствия уязвимых компьютеров, и система становится неуязвимой для атаки. При этом понижается скорость уменьшения числа атакующих компьютеров. Учёт отражения текущих потерь от атак ВП с оценкой прироста количества успешно атакованных компьютеров за конкретный

временной период представляется математической моделью уязвимости в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dy_1(t)}{dt} = \frac{1-\mu(t)}{N} (a - (N_j \mu p_j + (1-p_j)(N-N_j) \mu y_2(t))) y_1(t), \\ \frac{dy_2(t)}{dt} = (-c + dy_1(t)) y_2(t), \end{cases} \quad (1)$$

где N – число потенциально уязвимых к атакам компьютеров; a – скорость прироста уязвимых компьютеров; c – скорость уменьшения. числа атакующих компьютеров; $y_1(t)$ – уязвимые компьютеры; $y_2(t)$ – пораженные компьютеры; $\mu(t)$ – доля компьютеров успешно атакованных.

С целью повышения корректности расчётных результатов уязвимости будем считать, что постоянная доля уязвимых компьютеров, которые были успешно атакованы в любой телекоммуникационной подсети, связана с вероятностью того, что захваченный компьютер в подсети будет атаковать компьютеры в этой же подсети, а также с существованием состояния, когда атакуемый компьютер находится вне этой подсети. Поскольку отработка системы информационной защиты выполняется с задержкой, (т.е. с момента начала атаки проходит некоторое время), в математическую модель вводится коэффициент осцилляции, который выражает задержку в срабатывании системы безопасности. С учётом приведенных выше вероятностных усложнений система уравнений, описывающая уязвимость телекоммуникационных компьютеров, представляется в виде:

$$\begin{cases} \frac{dy_1(t)}{dt} = (a - (s_j \mu p_j + (1-p_j)(1-s_j) \mu (1-\mu) y_2(t))) y_1(t) - \lambda y_1^2(t), \\ \frac{dy_2(t)}{dt} = (d y_1(t) - c) y_2(t) - \lambda y_1^2(t). \end{cases} \quad (2)$$

где $s_j = N_j/N$; d – коэффициент уязвимости; p_j – вероятность захвата компьютера в подсети из N_j компьютеров; λ – коэффициент осцилляции (задержки срабатывания системы безопасности).

Усложнение математической модели уязвимости компьютерной телекоммуникации должно учитывать ряд особенных обстоятельств. Так, например, если компьютерная сеть содержит N потенциально уязвимых к атакам компьютеров, считается, что модель противостояния можно упростить, так как один и тот же компьютер не может быть атакован дважды. При этом доля уязвимых компьютеров, которые были успешно атакованы, представляется общим количеством успешно атакованных компьютеров, каждый из которых может быть использован для проведения среднего количества последующих атак. Поскольку часть компьютеров уже была успешно атакована, каждым новым захваченным компьютером будет произведено определённое количество новых успешных атак. В усложнённой модели учитывается тот факт, что система телекоммуникации состоит из нескольких автономных подсетей, в которых каждый компьютер может взаимодействовать в любой момент времени с любым другим произвольным количеством компьютеров вне системы, например, в Интернете. Поскольку мгновенное выявление троянских ВП невозможно, то сетевая защита может обеспечиваться серверами безопасности с облачным принципом действия. При запуске все файлы целиком проверяются несколькими системами безопасности, а вся эвристика компьютеров сети настраивается с такими возможностями: сканирования файлов только целиком; обработка файлов, находящихся

как в статическом, так и в динамическом состоянии; копирование файлов сначала на сервер безопасности и последующего распаковывания, сканирования и диагностирования.

Говорить о надлежащей безопасности от большинства вирусов можно только после использования не менее 3–8 видов сканирования и проверок. Даже отсканированный компьютер антивирусной программой не может считаться в безопасности, поскольку система безопасности вычисляет сначала активный и самостоятельно копирующийся вирус, а спящие или скрытые обнаруживаются в лучшем случае, через 2–3 дня и только после запуска. Полное проявление угрозы от троянских ВП можно увидеть лишь в процессе их действий.

Среди отмеченных выше троянских вирусов проникновения очень опасным и чрезвычайно разрушительным считается вредоносный паразит Креррег, который вызывает серьезные проблемы, связанные со стабильностью компьютера. В систему он попадает через ненадежные интернет ресурсы, сети общего доступа или онлайн-чатов, работает в скрытном режиме в ожидании указанной даты запуска. В указанную дату вирус Креррег поражает системный реестр Windows, удаляя несколько критических системных папок и иницируя другие деструктивные действия по обнаружению и полному прекращению работы антивирусных программ в компьютерах. Кроме того, этот вирус способен подключить систему к другим вредоносным серверам и способствовать загрузке других подобных вирусных программ. Его проявление отражается в постоянном замедлении работы компьютерной системы или некоторых программ, их сбой без какой-либо видимой причины. Однако проблемы идут глубже, чем может показаться в начале, так как этот троянский ВП будет потреблять много системных ресурсов и уменьшать его производительность. Вирус будет собирать различную конфиденциальную информацию о пользователе, например, его идентификационный номер, банковские счета и другие данные, которые могут быть использованы для вредоносных целей. Эта вредоносная программа создана таким образом, что её очень сложно обнаружить и удалить с компьютера раз и навсегда, поскольку она, по-видимому, постоянно обновляется. Более того, ВП Креррег подключается к Интернету без разрешения и обращается к веб-сайтам, которые могут быть вредными, и т.о. продолжает заражать компьютер.

Троянский ВП Креррег повреждает любую папку или файл, на которые он нацелен, и автоматически удаляет их. Поэтому легко теряется важная информация, повреждаются некоторые аппаратные компоненты, например, звук или изображения. Кроме того, собранные конфиденциальные данные он может несанкционированно передавать третьим лицам. Он распространяется через зараженные вложения электронной почты, с зараженного USB-накопителя или другого устройства, а также путём связывания различных программных средств вместе с некоторыми бесплатными приложениями в виде приманок. При этом загружаются различные потенциально нежелательные программы, такие, как браузеры, рекламные продукты, а также другие вредоносные программы. Это происходит при недостаточном внимании пользователей, когда не проверяется каждый шаг процесса установки и не избегаются подозрительные сторонние менеджеры загрузки. Поскольку данный вирус является опасным и постоянным приложением, то для поддержания компьютера в безопасном состоянии, средством надежной защиты являются антивирусные программы узконаправленного действия.

Значительную помощь может оказать и проектный подход, при котором во время проектирования задач сети и доступов учитываются задачи защиты от вирусов проникновения. Необходимо только один подход – строить сети на предприятиях таким образом, чтобы любая ее часть легко сканировалась антивирусными приложениями в удаленном режиме, оставаясь при этом недоступной для пользователей с более низким уровнем допуска.

Выводы и предложения. Выполненное исследование показало проблематику структуры и принципов действия вирусов проникновения, и раскрыло некоторые особенности компьютерной уязвимости. Вирус проникновения троян несёт огромную

опасность и крайне пагубно влияет на работу компьютерных систем и сетей морской критической инфраструктуры. Полученные результаты оценки проблем возникновения вирусов связываются с желанием сообщников КП управлять компьютерными средствами на расстоянии. Особенности проявления троянских вирусов проникновения проявляются в виде технического изменения файловых систем компьютеров, копирования информации по запросу, заложенному в программном коде ВП, или выкачивания из интернет вредоносных кодов с их распаковкой и запуском с жесткого информационного диска компьютера. Предлагается устанавливать уязвимость компьютерной системы и сети с использованием оценочного подхода, основанного на теоретическом моделировании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України», Київ, 5 жовтня 2017 року № 2163-VIII.
2. Монахов, Ю.М. Вредоносные программы в компьютерных сетях: учеб. пособие / Ю.М. Монахов, Л.М. Груздева, М.Ю. Монахов; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 72 с.
3. Брэгг Р. Безопасность сетей. Полное руководство / Р. Брэгг, М. Родс-Оусли, К. Страссберг. – М. : Эком, 2006. – 912с.
4. Гошко С.В. Энциклопедия по защите от вирусов / С.В. Гошко. – М. : СОЛОН-Р, 2005. – 352 с.
5. Касперский К. Компьютерные вирусы: изнутри и снаружи / К. Касперский. – СПб. : Питер, 2005. – 528с.
6. Козлов Д.А. Энциклопедия компьютерных вирусов / Д.А. Козлов, А.А. Парандовский, А.К. Парандовский. – М. : СОЛОН-Р, 2001. – 464с.
7. Собейкис В.Г. Азбука хакера 3. Компьютерная вирусология / В.Г. Собейкис. – М : Майор, 2006. – 512 с.

REFERENCES

1. The Law of Ukraine «On the Basic Principles of Cyber Security of Ukraine», Kyiv, 5 October 2017 No. 2163-VIII.
2. Monakhov, Yu.M. Malicious programs in computer networks: training. allowance / Yu.M. Monakhov, LM Gruzdeva, M.Yu. Monakhov; Vladimir. state. un-t. Vladimir: Publishing house of Vladimir. state. University, 2010. 72 s.
3. Bragg R. Network Security. Full leadership / R. Bragg, M. Rhodes-Ousley, C. Strassberg. M. : 2006. – 912 c.
4. Goshko S.V. Encyclopedia on protection from viruses / S.V. Goshko. M.: SOLON-R, 2005. 352 p.
5. Kaspersky K. Computer viruses: inside and out / K. Kaspersky. St. Petersburg. : Peter, 2005. 528 s.
6. Kozlov D.A. Encyclopedia of computer viruses / D.A. Kozlov, A.A. Parandovsky, A.K. The Parandovsky. M. : SOLON-R, 2001. 464 p.
7. Sobeykis V.G. The ABC of the hacker 3. Computer virology / V.G. Sobeykis. M. : Major, 2006. 512 s.

Вільський Г. Б., Радов А. А. ПРОБЛЕМИ ВИНИКНЕННЯ І ОСОБЛИВОСТІ ПРОЯВУ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ВІРУСІВ ПРОНИКНЕННЯ

Розглянуто результати дослідження небезпек троянських вірусів проникнення, що проявляються у вигляді технічної зміни файлових систем комп'ютерів, копіювання інформації за запитом або викачування з Інтернету шкідливих кодів з їх розпакуванням і запуском з жорсткого інформаційного диска комп'ютера. Обґрунтовано поєднуваність проявів троянського вірусу і бажання кіберзлочинців управляти комп'ютерами в системах і мережах на відстані. Пропонується оцінювальний підхід до встановлення уразливості комп'ютерної системи і мережі, заснованому на теоретичному моделюванні.

Ключові слова: атака, вірус, шкідлива програма, інформація, кіберзлочинність, комп'ютер, сайт, сервер, троян.

Vilsky G. B., Radov A. A. PROBLEMS OF VINICNENIYA AND THE OBOBLIVOSTS I WILL EXPERIENCE THE COMPUTERS OF THE VOLUNTARY PROTECTIVE VIRUSES

The results of a study of the dangers of Trojan penetration viruses appearing in the form of a technical change in computer file systems, copying information on demand, or downloading malicious codes from the Internet with their unpacking and launching from a hard information disk of a computer are examined. The compatibility of manifestations of the Trojan virus and the desire of cybercriminals to control computers in systems and networks at a distance is grounded. An evaluative approach is proposed to establish the vulnerability of a computer system and network, based on theoretical modeling..

Keywords: attack, virus, malware, information, cybercrime, computer, site, server, Trojan.

© Вільський Г. Б., Радов А. А.

Статтю прийнято
до редакції 15.05.18

СОКРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЧИСЛЕННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СУДНА В БОРТОВОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЕ

Зинченко С. Н., к.т.н., старший преподаватель кафедры управления судном Херсонской государственной морской академии, e-mail: srz56@ukr.net;

Маменко П. П., старший преподаватель кафедры управления судном Херсонской государственной морской академии, e-mail: pavlo.mamenko@gmail.com;

Грошева О. А., старший лаборант кафедры управления судном Херсонской государственной морской академии, e-mail: olgamelyaeva@gmail.com

Целью работы является разработка упрощенной математической модели судна с минимальным временем численного интегрирования для ее использования в бортовом вычислителе в качестве инструмента метода пристрелки в задачах оптимального управления, а также для решения других прикладных задач. Поставленная цель достигается уменьшением размерности математической модели до 6 дифференциальных уравнений и одновременным увеличением шага интегрирования при условии сохранения приемлемой точности и устойчивости модели. Разработанные алгоритмы могут быть применены в модуле синтеза оптимального управления движением судов, других задачах управления, решаемых в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: объект управления, система управления, математическая модель, числовое интегрирование.

Вступление. Модель – это создаваемый в целях получения информации специфический объект-заменитель, отражающий свойства объекта-оригинала, существенные для решаемой задачи. Независимо от природы объекта, характера решаемой задачи и способа реализации модель всегда представляет собой информационное образование. Модели могут применяться как инструмент для понимания действительности, обучения и тренажа, а также в качестве инструмента прогнозирования. После появления вычислительной техники широкое применение нашли математические модели, которые позволяют с относительно небольшими материальными затратами исследовать физический процесс, изучить его основные свойства. Со временем, математические модели стали использоваться также для исследования и совершенствования управления техническими системами и применяться в автоматических системах управления (АСУ) как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации [9–11]. Для решения задач управления моделируются процессы, происходящие в управляемой и управляющей системах. Модель в этом случае входит как структурный элемент в проект АСУ. В такой модели различают условия нормального функционирования (управление по каналам прямой и обратной связей, статическую и динамическую оптимизацию, адаптивное управление, групповое управление) и критические ситуации, когда некоторые элементы программного управления могут зависеть от состояния системы и значений параметров.

В настоящей статье рассматриваются вопросы синтеза математической модели судна, используемой в бортовом вычислителе, для решения задач управления. Одной из таких задач, например, является задача оптимального управления движением с заданными граничными условиями [1]. К данной задаче сводятся многочисленные практические задачи маневрирования при проведении операций спасения, дальнего подхода к объекту швартовки, в том числе подвижному, другие задачи. Одним из методов решения задач оптимального управления с закрепленными концами есть метод пристрелки [6], использующий в качестве инструмента математическую модель объекта управления, причем, для размерности математической модели объекта управления n требуется совершить $n+1$ выстрел. Ввиду большого количества вычислений, необходимых для реализации метода в реальном масштабе времени, к математической модели

предъявляются, кроме требований максимального соответствия объекту управления, также требования максимального быстродействия. Поэтому задача синтеза такой математической модели является актуальной.

Целью настоящей статьи является синтез упрощенной математической модели судна, с достаточной точностью описывающей объект управления и внешние воздействия, и позволяющую минимизировать время численного решения задач управления в бортовом вычислителе.

Решение задачи. Структурная схема объектов моделирования представлена на рис. 1. Блок «Объект управления» представляет собой упрощенную математическую модель судна в виде системы 6 дифференциальных уравнений, построенных на основе полной системы уравнений, представленных, например, в [2]. Уравнения приведены в системе координат, жестко связанной с объектом управления – связанной системе координат (ССК). Линейные и угловые перемещения ССК записаны относительно географической системы координат (ГСК) $X_g Y_g Z_g$, расположенной в центре масс судна так, что ось X_g направлена вдоль меридиана в сторону севера, Y_g – вдоль параллели к востоку, Z_g – дополняет систему до «правой».

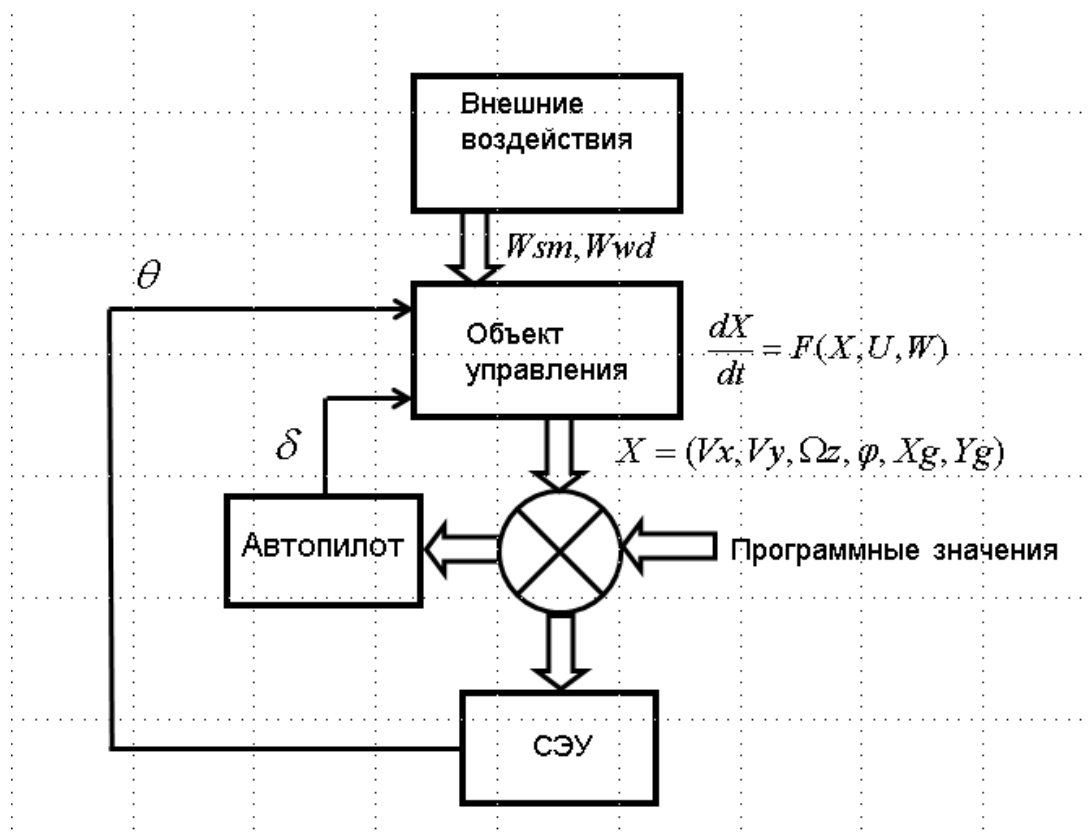


Рисунок 1 – Структурная схема объектов моделирования

На объект управления действуют внешние воздействия в виде ветра и течения, которые генерируются в блоке «Внешние воздействия»

Параметры вектора состояния объекта управления $X = (V_x, V_y, \Omega_z, \varphi, X_g, Y_g)$ определяются численным интегрированием с использованием метода Рунге-Кутты 4-го порядка. Некоторые из полученных параметров вектора состояния сравниваются с требуемыми программными значениями и их рассогласования подаются на входы автопилота для формирования угла отклонения руля направления и силовой энергетической установки (СЭУ) для формирования угла отклонения телеграфа.

Упрощенная система дифференциальных уравнений, описывающая поведение объекта управления с учетом внешних воздействий, представлена ниже.

$$\frac{dV_x}{dt} = [P_x(\theta) - R_x + (m + \lambda_{22})V_y\Omega_z]/(m + \lambda_{11}); \quad (1)$$

$$\frac{dV_y}{dt} = [R_y - (m + \lambda_{11})V_x\Omega_z]/(m + \lambda_{22}); \quad (2)$$

$$\frac{d\Omega_z}{dt} = [M_z + M_z u(\delta) - (\lambda_{22} - \lambda_{11})V_y V_x]/(I_z + \lambda_{66}); \quad (3)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \Omega_z; \quad (4)$$

$$\frac{dX_g}{dt} = V_x \cos \varphi - V_y \sin \varphi; \quad (5)$$

$$\frac{dY_g}{dt} = V_x \sin \varphi + V_y \cos \varphi \quad (6)$$

или в векторной форме

$$\frac{dX}{dt} = f(X, U),$$

где $X = (V_x, V_y, \Omega_z, \varphi, X_g, Y_g)$ – вектор состояния математической модели; $U = (\theta, \delta)$ – вектор управления $f(X, U) = [f_1(X, U), f_2(X, U), f_3(X, U), f_4(X, U), f_5(X, U), f_6(X, U)]$ – вектор-функция правых частей уравнений (1–6), где m – масса судна, $\lambda_{11}, \lambda_{22}, \lambda_{66}$ – присоединенные массы воды, $P_x(\theta)$ – сила упора винта, зависит от угла отклонения телеграфа θ , $M_z u(\delta)$ – управляющий момент, зависит от угла отклонения руля направления δ .

В уравнениях (1)–(3) приведены также силы продольного R_x , бокового R_y сопротивления и возмущающего момента M_z с учетом ветра и течения:

$$R_x = R_x(\beta_{sm}, \delta) + R_x(\beta_{wd}, \delta);$$

$$R_y = R_y(\beta_{sm}, \delta) + R_y(\beta_{wd}, \delta);$$

$$M_z = M_z(\beta_{sm}) + M_z(\beta_{wd}).$$

$$R_x(\beta_{sm}, \delta) = C_x(\beta_{sm}, \delta) * \rho_{sm} * \frac{\Delta V_{xsm}^2}{2} S;$$

$$R_y(\beta_{sm}, \delta) = C_y(\beta_{sm}, \delta) * \rho_{sm} * \frac{\Delta V_{ysm}^2}{2} S;$$

$$M_z(\beta_{sm}) = m_z(\beta_{sm}, \delta) * \rho_{sm} * \frac{\Delta V_{sm}^2}{2} S * L;$$

$$R_x(\beta_{wd}) = C_x(\beta_{wd}) * \rho_{wd} * \frac{\Delta V_{xwd}^2}{2} F_a;$$

$$R_y(\beta_{wd}) = C_y(\beta_{wd}) * \rho_{wd} * \frac{\Delta V_{ywd}^2}{2} F_a;$$

$$M_z(\beta_{wd}) = m_z(\beta_{wd}) * \rho_{wd} * \frac{\Delta V_{wd}^2}{2} S * L.$$

$$\Delta V_{sm} = V - W_{sm},$$

$$\Delta V_{wd} = V - W_{wd},$$

где β_{wd}, β_{sm} – соответственно углы дрейфа судна относительно ветра и течения, $C_x(\beta_{wd}), C_x(\beta_{sm}, \delta)$ – коэффициенты аэродинамического и гидродинамического сопротивления, $C_y(\beta_{wd}), C_y(\beta_{sm}, \delta)$ – коэффициенты аэродинамической и гидродинамической боковой силы, $mz(\beta_{wd}), mz(\beta_{sm}, \delta)$ – коэффициенты аэродинамического и гидродинамического моментов, ρ_{wd}, ρ_{sm} – плотности воздуха и воды, $\Delta V_{xwd}, \Delta V_{xsm}$ – скорости перемещения судна относительно ветра и течения, S, Fa – площадь поперечного сечения судна под водой и площадь парусности.

Для поддержания заданного курса и траектории движения, регулируемые параметры вектора состояния $\varphi, \Omega z, Yg$ сравниваются с их программными значениями $\varphi^*, \Omega z^*, Yg^*$ и полученные рассогласования подаются на модель управления курсом (автопилот), представленной ПИД-регулятором [3–5]:

$$\delta = k\varphi^*(\varphi - \varphi^*) + k\omega^*(\Omega z - \Omega z^*) + kI^* \int (Yg - Yg^*) dt,$$

где $k\varphi^*, k\omega^*, kI$ – коэффициенты усиления ПИД-регулятора.

Скорость судна зависит от силы упора винта, которая определяется четырьмя положениями телеграфа вперед (0,+25,+50,+75,+90) град. и четырьмя положениями телеграфа назад (-25,-50,-75,-90) град.

Результаты исследований. Работа математической модели проверялась численным интегрированием [7–8] системы дифференциальных уравнений (1-6) методом Рунге-Кутты 4-го порядка для шагов интегрирования 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 сек. при наличии ветра (скорость 2 м/с, направление западное) и течения (скорость 1м/с, направление встречное), на участках разгона, торможения и циркуляции.

Результаты моделирования в виде графиков изменения во времени параметров вектора состояния и управления на участках разгона-торможения для шагов интегрирования $H=0.2$ сек и $H=3$ сек представлены на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

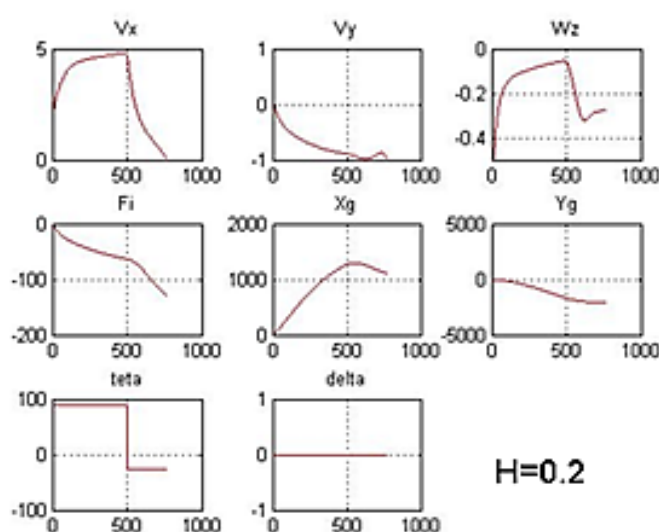


Рисунок 2 – Графики изменения во времени параметров вектора состояния и управления на участках разгона-торможения для шага интегрирования $H=0.2$ сек

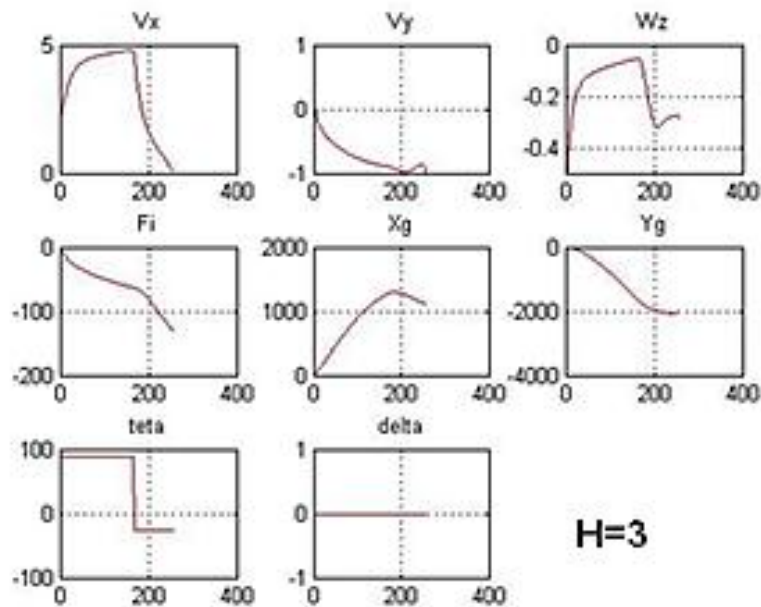


Рисунок 3 – Графики изменения во времени параметров вектора состояния и управления на участках разгона-торможения для шага интегрирования $H=3$ сек.

Результаты моделирования в виде графиков изменения во времени параметров продольного X_g и бокового Y_g смещения судна на участке циркуляции для шагов интегрирования $H=0.2$ сек и $H=3$ сек представлены на рис. 4 и рис. 5 соответственно.

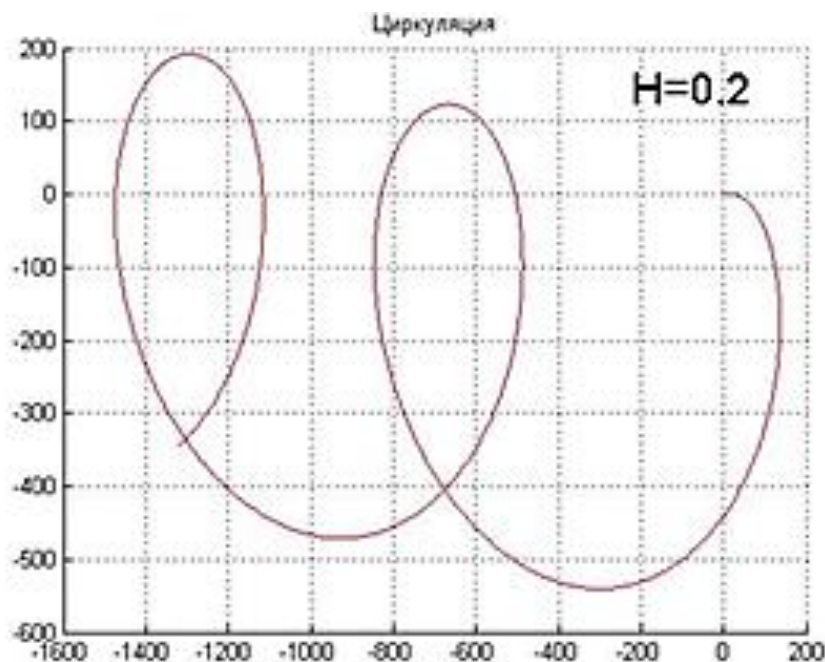


Рисунок 4 – График изменения во времени параметров продольного X_g и бокового Y_g смещения судна на участке циркуляции для шага интегрирования $H=0.2$ сек

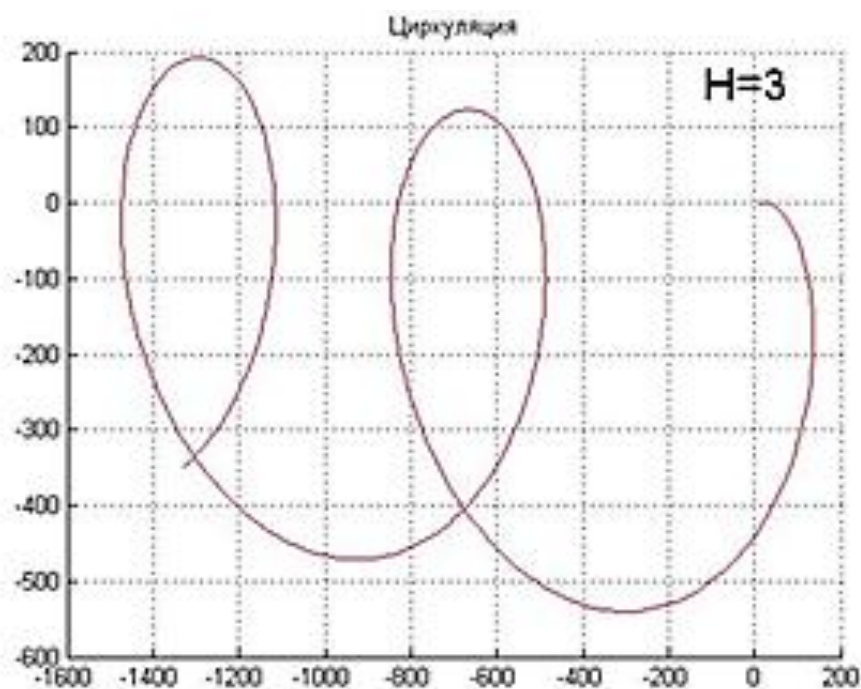


Рисунок 5 – График изменения во времени параметров продольного X_g и бокового Y_g смещения судна на участке циркуляции для шага интегрирования $H=3$ сек

Выводы. Как видно из полученных результатов моделирования, параметры вектора состояния упрощенной модели судна для шагов интегрирования $H=0.2$ сек и $H=3$ сек достаточно хорошо совпадают на всех участках: разгона, торможения и циркуляции. Это обстоятельство позволяет сделать вывод, что за счет увеличения шага интегрирования созданная упрощенная математическая модель позволяет сократить время численного интегрирования в 15 раз ($3/0.2$) на каждой итерации метода Рунге-Кутты, а общее время сокращения времени интегрирования составляет 60. Данная модель может быть использована в бортовом вычислителе как инструмент метода пристрелки при решении задач оптимального управления, а также других прикладных задач в бортовом контроллере.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Понtryгин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М., Наука, 1969.
2. Navi Trainer 4000. Mathematical models // Technical description. Transas Marine Ltd, 2003. – 104 p.
3. Антонов В.А., Письменный М.Н. Теоретические основы управления судном. – Владивосток : МГУ им.адмирала Г.И.Невельского, 2007. – 78с.
4. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. – 3-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – С.Петербург., Профессия, 2003. – 750 с.
6. Моршнева И.В., Овчинникова С.Н. Численное решение краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод стрельбы. –РнД:УПЛ РГУ, 2003.
7. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – Москва : Наука, 1989. – 432 с.
8. Годунов С.К., Рябенкий В.С. Разностные схемы. Введение в теорию. – М. : Наука, 1977. – 439 с.
9. Алексеева Е.В., Кутненко О.А., Плясунов А.В. Численные методы оптимизации: Учебное пособие / Новосиб. ун-т, Новосибирск, 2008. – 128 с.

10. Струченков В.И. Методы оптимизации в прикладных задачах. – Москва : Солон-Пресс, 2009. – 310 с.
11. Вентцель Е. С.. Исследование операций: задачи, принципы, методология. Учебное пособие для втузов. – М.:Высшая школа, 2007.

REFERENCES

1. Pontryagin, L., Boltyanskiy V., Gamkrelidze R. & Mishenko E. (1969) Matematicheskaya teoriya optimalnykh processov. Moskva : Nauka.
2. Transas Marine Ltd (2003). Navi Trainer 4000. Mathematical models. Technical description, 104 p.
3. Antonov V. & Pismennyj M. (2007). Teoreticheskie osnovy upravleniya sudnom. Vladivostok : MGU im.admirala Nevelskogo. 78 p.
4. Vagushenko L.& Cimbali N. (2007). Sistemy avtomaticheskogo upravleniya dviganiem sudna. – 3-e izd., pererab. i dop. Odessa : Feniks. 328 p.
5. Besekerskiy V. & Popov E. (2003). Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya. S.Peterburg : Professiya. 750 p.
6. Morshneva I. & Ovchinnikova S. (2003). Chislennoe reshenie kraevih zadach dlya obyknovennykh differentsialnykh uravneniy. Metod strelby. RnD : UPL RGU.
7. Samarskiy A. & Gulin A.(1989). Chislennyye metody. M. : Nauka. 432 p.
8. Godunov S. & Ryabenkiy V.(1977). Raznostnye shemy. Vvedenie v teoriyu. M. : Nauka. 439 p.
9. Alekseeva E., Kutnenko O. & Plyasunov A. (2008). Chislennyye metody optimizatsii: uchebnoe pocobie dlya vtuzov. Novosibirsk: Novosib.univer.128p.
- 10.Struchenkov V. (2009). Metody optimizatsii v prikladnykh zadachah. M.:Solon-Press. 310 p.
- 11.Ventcel E. (2007). Issledovanie operatsiy: zadachi, principy, metodologiya. Uchebnoe posobie dlya vtuzov. M.:Visshaya shkola.

Зінченко С. М., Маменко П. П., Грошева О. О. СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ЧИСЕЛЬНОГО ІНТЕГРУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СУДНА У БОРТОВОМУ ОБЧИСЛЮВАЧІ

Метою роботи є розробка спрощеної математичної моделі судна з мінімальним часом числового інтегрування для її використання у бортовому обчислювачі у якості інструмента методу пристрілки в задачах оптимального управління, а також для вирішення інших прикладних задач. Поставлена ціль досягається зменшенням розмірності математичної моделі до 6 диференціальних рівнянь та одночасним збільшенням шагу інтегрування за умови збереження заданої точності та стійкості моделі. Розроблені алгоритми можуть бути використані у модулі синтезу оптимального управління рухом суден, інших задачах управління, що вирішуються у реальному масштабі часу.

Ключові слова: об'єкт управління, система управління, математична модель, числове інтегрування.

Zinchenko S. N., Mamenko P. P., Grosheva O. A. REDUCTION OF THE TIME OF NUMERICAL INTEGRATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE VESSEL IN THE ON-BOARD CALCULATOR

The aim of the work is developing a simplified mathematical model of a vessel with minimal numerical integration time for its use in an onboard computer as a tool for the shooting method in optimal control problems, as well as for solving other applied problems. The goal is achieved by reducing the dimension of the mathematical model to 6 differential equations and simultaneously increasing the integration step, while maintaining the accepted accuracy and stability of the model. The developed algorithms can be applied in the synthesis module of the optimal control of the movement of vessels, other control problems solved in real time.

Keywords: control object, control system, mathematical model, numerical integration.

© Зінченко С. М., Маменко П. П., Грошева О. О.

Статтю прийнято
до редакції 22.04.18

МОДЕЛІ І ПРИНЦИПИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

Носов П. С., к.т.н., доцент Херсонської державної морської академії, e-mail: pason@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5067-9766;

Бень А. П., к.т.н., проректор з науково-педагогічної роботи Херсонської державної морської академії, e-mail: a_ben@i.ua;

Носова Г. В., викладачка Херсонського політехнічного коледжу Одеського національного політехнічного університету, e-mail: nos.gal77@gmail.com;

Карпова С. О., старша викладачка Херсонської філії Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, e-mail: kbnuos@gmail.com

Метою статті є розробка формальних моделей, які описують розвиток інформаційних інтерфейсів з урахуванням їх результативності та тимчасових витрат при експлуатації на морському транспорті, що дозволить поліпшити показники працездатності членів вахтової команди при виконанні ними професійних обов'язків. У статті проводиться залежність між зміною інформаційних інтерфейсів, таких як ECDIS і судноводіями, що приймають управлінські рішення на морському транспорті. Дана залежність безпосередньо впливає на рівень безпеки, що визначає мету статті як актуальну. Розглянуті питання розвитку інформаційних інтерфейсів, його окремих частин у вигляді обладнання та принципи конфігурації розташування. Запропоновано підходи статистичного розрахунку експлуатаційних властивостей інформаційних інтерфейсів із застосуванням експертного оцінювання.

Ключові слова: формальні моделі, інформаційні інтерфейси, управління судном, людський фактор.

Вступ. У процесі управління судном команда судноводіїв приймає управлінські рішення залежно від вхідної інформації, що відображається засобами інформаційних інтерфейсів. У найбільш складних ситуаціях (маневрах) інформаційний потік, що впливає на оперативне прийняття рішень, перевищує поріг сприйняття судноводія і істотно знижує рівень безпеки на морському транспорті [1–5]. Наявні системи і тренажерні комплекси, такі, як ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) [6], є безпосереднім джерелом інформаційного потоку.

Дані комплекси мають різні по конфігурації інформаційні інтерфейси, сертифіковані за стандартами IEC62288 і ІНО S-52, S-63 [7]. Також змінюється і розташування інформаційних інтерфейсів, що забезпечують робочі місця членів вахтової служби. У ряді випадків конфігурація, розташування, інтенсивність і інформативність інформаційних потоків вимагають підбору найбільш раціональних комбінацій [8, 9]. На недоліки наявних наборів інформаційних інтерфейсів вказує практика їх експлуатації, що перевірена часом [10–12]. У той же час версії програмного забезпечення інформаційних систем також зазнають змін і не завжди мають позитивний ефект при їх експлуатації.

Метою статті є розробка формальних моделей, що описує розвиток інформаційних інтерфейсів з урахуванням їх результативності та тимчасових витрат під час експлуатації на морському транспорті. Стаття спрямована на підтримку прийняття рішень проєктувальників інформаційних інтерфейсів на морському транспорті з метою поліпшення показників працездатності членів вахтової команди при виконанні ними професійних обов'язків.

Рішення задачі. Незалежно від міжнародних стандартів що описують основний набір інформаційних інтерфейсів на морському транспорті, їх різноманітність і взаємне розташування змінюється з кожним роком, також зростає складність даних систем (рис. 1). Розмірність інформаційних інтерфейсів залежить від функцій морського транспорту, використовуваних інформаційних технологій і габаритів судна. Наявні інформаційні інтерфейси еволюціонують з часом, додаючи нові функції, але за своєю суттю залишаючись однотипними. Слід зазначити, що системи також схильні до виходу з ладу, втрати точності, а також «морально» застарівають.

$$P_i = \{p_{1i}, p_{2i}, \dots, p_{mi}\},$$

$$P_i = \{p_{1i}, p_{2i}, \dots, p_{mi}\},$$

де m_i – число характерних параметрів.

Протягом життєвого циклу кожен інформаційний інтерфейс зазнає ряд змін у рамках життєвого циклу: етап проєктування та етап виготовлення і розміщення.

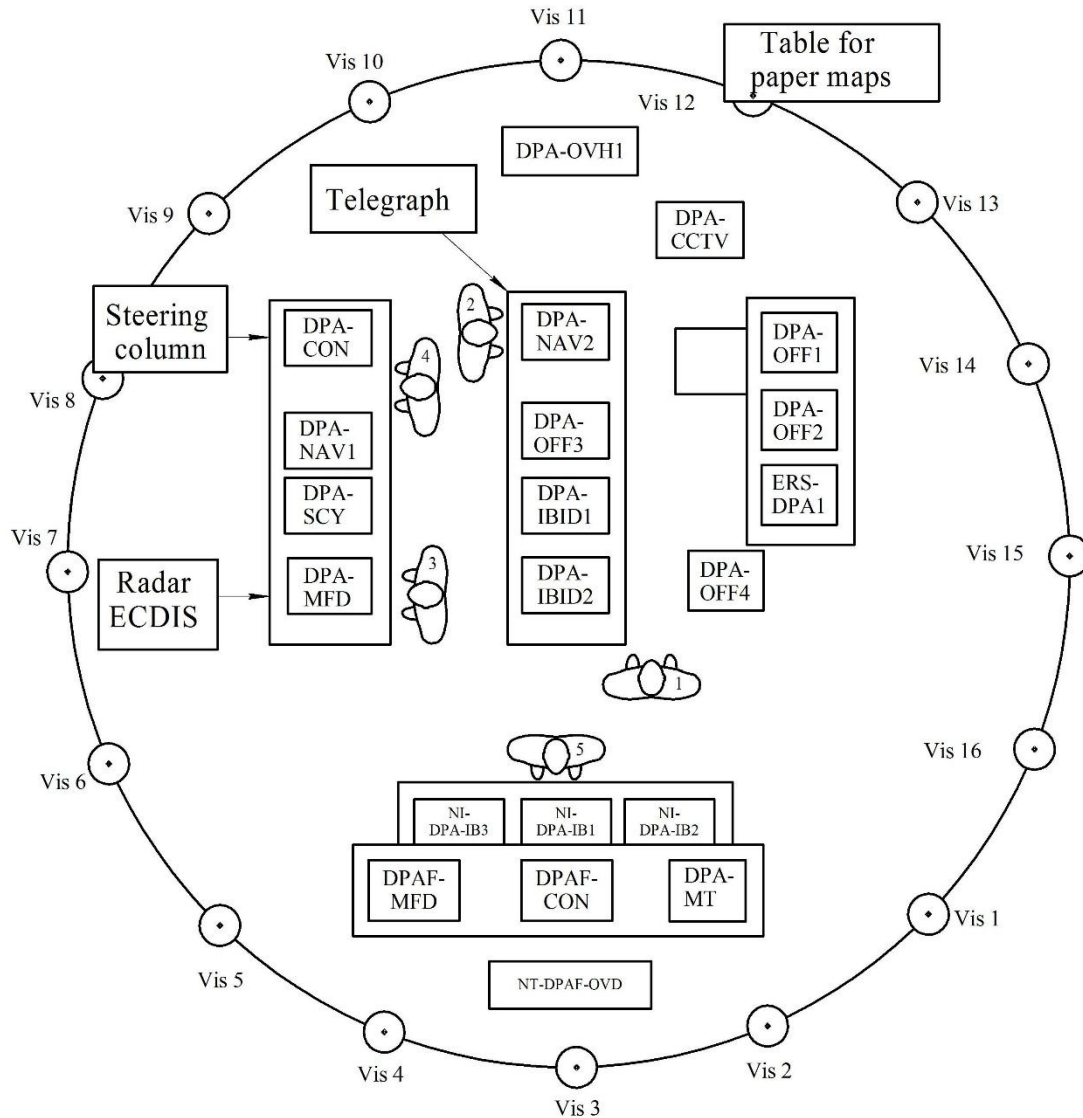


Рисунок 1 – Розташування і набір інформаційних інтерфейсів навігаційного тренажера NTPRO 5000 (1 – капітан; 2–4 – 1–3-й помічники; 5 – боцман)

У певний часовий період у рамках зміни технологічного рішення виготовляється певна кількість інформаційних інтерфейсів відповідних типів $N_i(t)$, де i – номер типу, отже, отримаємо вектор-функцію:

$$E_i(t) = N_i(t) - C_i(t) - G_i(t), \quad (1)$$

де C_i – кількість інтерфейсів, що знаходяться в резерві; G_i – кількість поламаних і списаних через спрацювання ресурсу інтерфейсів; E_i – число інтерфейсів в експлуатації.

Тоді абсолютна кількість інтерфейсів i -го типу, яку можна використовувати в момент t через L_i , дорівнює: $L_i \leq E_i \leq N_i$. За аналогією з функцією N можна визначити ще дві вектор-функції:

$$E(t) = \{E_1(t), \dots, E_n(t)\},$$

$$L(t) = \{L_1(t), \dots, L_n(t)\}.$$



Рисунок 2 – Види конфігурацій і розташування інформаційних інтерфейсів
Зовнішній опис інформаційного інтерфейсу можна представити коротцем:

$$Intrf \Rightarrow \langle N(t), E(t), L(t), P \rangle. \quad (2)$$

де $C(t)$ та $G(t)$ – розміри запасів і розміри втрат.

Для контролю та прогнозування використовуються характеристики темпів:

$$\Delta N_i(t_l) = N_i(t_l) - N_i(t_{l-1}), \quad (3)$$

де l – номер постійного кроку часу $\Delta t = 1$.

Тоді темпи втрат визначаються величиною $\Delta G_i(t_l)$, такою що:

$$\Delta G_i(t_l) = G_i(t_l) - G_i(t_{l-1}). \quad (4)$$

Важливими показниками експлуатації інформаційних інтерфейсів є їх працездатність на період часу, позначимо ці показники через $w_1, w_2, \dots, w_{p^*}$, де p^* – число показників працездатності з різних напрямів (повнота інформації, якість відображення інформації, швидкість подачі інформації, точність і надійність роботи інтерфейсів, розташування інтерфейсів) [13–14].

З метою аналізу показників працездатності інтерфейсів пропонується провести анкетування плавскладу на предмет експлуатаційних особливостей даних показників, що об'єднуються в набір $W = \{w_1, \dots, w_{p^*}\}$. Водночас висновок узагальненого інтегрального показника не раціональний через зміну рангу показника залежно від ситуації.

Побудова моделі. Для визначення результативності проведемо моделювання процесів функціонування інформаційних інтерфейсів як системи. Так вид моделі для j -го показника результативності інтерфейсу можна представити таким чином:

$$w_j(t) = F_j(L, t). \quad (5)$$

Для підвищення адекватності моделі пропонується провести багаторазове імітаційне моделювання процесів функціонування інтерфейсів з різними варіантами функції $L(t)$ і статистичною обробкою результатів. За результатами статистичного аналізу визначається взаємозв'язок систем: система розробки (Ds); система виробництва (Ps); система обслуговування (Ss); система капіталовкладень (Si). Для активації представлених систем

необхідно розглянути ресурси, що накопичуються Ω і не накопичуються ψ . До ресурсів виду Ω можна віднести матеріальні витрати, а до ресурсів виду ψ – час експлуатації. Тоді маємо вектори-функції від часу:

$$\Omega_x(t) = \{\Omega_{x1}(t), \Omega_{x2}(t), \dots, \Omega_{xa}(t)\}; \quad (6)$$

$$\psi_x(t) = \{\psi_{x1}(t), \psi_{x2}(t), \dots, \psi_{xa}(t)\},$$

де x – індекс системи, a – число типів ресурсів, що враховано, виду Ω , b – число типів ресурсів виду ψ , $\Omega_{xi}(t_l)$ і $\psi_{xj}(t_l)$ – сумарні витрати ресурсів виду Ω_i та ψ_j системою x до моменту часу t_l . Викликає інтерес динаміка ресурсних витрат:

$$\Delta\Omega_{xi}(t_l) = \Omega_{xi}(t_l) - \Omega_{xi}(t_{l-1}); \quad (7)$$

$$\Delta\psi_{xj}(t_l) = \psi_{xj}(t_l) - \psi_{xj}(t_{l-1}).$$

Вирази (6) і (7) являють собою модель створення інформаційного інтерфейсу і його експлуатації. При цьому модель оцінки тривалості розробки має вигляд:

$$\Delta T_\psi = f(K, t_o).$$

де K – вектор параметрів об'єкта, t_o – календарний час початку розробки.

Так виготовлення серійного прототипу інформаційного інтерфейсу характеризується залежністю:

$$\Omega' = F_1(K), \psi' = F_2(K). \quad (8)$$

Відповідні витрати зазначених видів ресурсів на виготовлення прототипу інформаційного інтерфейсу з номером d визначаються за формулами:

$$\Omega^d = f_1(d)\Omega', \psi^d = f_2(d)\psi', \quad (9)$$

де $f_1(d)$ і $f_2(d)$ – емпіричні функції.

Процедура збору даних проводиться шляхом статистичного оцінювання. Причому, для показників працездатності інформаційних інтерфейсів за допомогою анкетування судноводіїв. Для комплексного оцінювання показника результативності при невизначеності оцінювання їх методами персонального тестування необхідно залучити дев'ять експертів. Результати аналізу показників ранжуються, тоді в результаті отримуємо матрицю значень, в якій рядки будуть відповідати категоріям оцінювання, а стовпці – тимчасовим діапазонам використання інформаційних інтерфейсів. Таким же чином проводиться складання матриці результатів, отриманих у ході оцінки експертною групою показників працездатності інформаційних інтерфейсів. Далі ці матриці поєднуються. Порядок категоріальних рядків не має значення, однак бажано, щоб результати індивідуального тестування не були змішані з експертними оцінками. В кінцевому вигляді матриця представляється у вигляді X_{ij}^η , значення якої є вихідними даними для складання моделі. Де i – змінюється по рядках від 1 до n , і j – по стовпцях від 1 до m , η – кількість членів експертної групи, тобто кількість вихідних матриць.

Наступним етапом є складання системної моделі на підставі аналізу показників інформаційних інтерфейсів. Отже, з'являється можливість визначити математичне очікування управляючих тенденцій розвитку інформаційних інтерфейсів. Такі тенденції підрозділяються на дві групи: «функціональну» й «ергономічну», кожна з яких ґрунтується на відповідних наборах показників.

Для визначення цільових параметрів на підставі розглянутих груп використовуємо таку формулу (10):

$$\zeta^i = \frac{\sum_j \sum_l \rho_{j,j+l}}{m(m-1)}, \quad (10)$$

де $\zeta_{j,j+l}$ – коефіцієнт кореляції між відповідними значеннями комірок, l змінюється від j до m . Коефіцієнт знаходиться за формулою (11–14):

$$\zeta_{j,j+l}^\eta = \frac{\overline{x_j^\eta x_{j+l}^\eta} - \overline{x_j^\eta} \cdot \overline{x_{j+l}^\eta}}{S_{x_j}^\eta \cdot S_{x_{j+l}}^\eta}; \quad (11)$$

$$\overline{x_j^\eta} = \frac{1}{\eta} \cdot \sum_{\eta=1}^{\eta} x_j^\eta \text{ и } \overline{x_{j+l}^\eta} = \frac{1}{\eta} \cdot \sum_{\eta=1}^{\eta} x_{j+l}^\eta; \quad (12)$$

$$\overline{x_j^\eta x_{j+l}^\eta} = \frac{1}{\eta} \cdot \sum_{\eta=1}^{\eta} x_j^\eta \cdot x_{j+l}^\eta; \quad (13)$$

$$S_{x_j}^2 = \frac{1}{\eta-1} \cdot \sum_{\eta=1}^{\eta} (x_j^\eta - \overline{x_j^\eta})^2 \text{ та } S_{x_{j+l}}^2 = \frac{1}{\eta-1} \cdot \sum_{\eta=1}^{\eta} (x_{j+l}^\eta - \overline{x_{j+l}^\eta})^2, \quad (14)$$

де $S_{x_j}^2$ і $S_{x_{j+l}}^2$ – незміщені дисперсії значень по кожному показнику.

Далі, по кожній категорії показників і для кожного тимчасового циклу послідовно проводиться визначення математичного очікування, виходячи зі стохастичного припущення про природу процесу розвитку інформаційного інтерфейсу.

При цьому порядок розподілу експертної оцінки вважаємо нормальним розподілом на підставі достатньої кількості членів експертної групи 7 +/-2. Математичне очікування визначається як середнє значення для відповідної комірки по кожній матриці кількістю η . Оскільки дане оцінювання відноситься до суб'єктивних і евристичних, то необхідно досліджувати дисперсію експертних оцінок. Далі визначаються коефіцієнти кореляції $\zeta_{j,j+l}$ послідовним перебором кожної пари взаємодії між циклами експлуатації в даній категорії показників інформаційних інтерфейсів, щоб запобігти повторенням.

Модель розвитку (upgrade) інформаційних інтерфейсів описується набором функцій $\Omega_x(t)$, $\zeta_x(t)$ і відповідних їм $N(t)$, $E(t)$, $L(t)$ для певного періоду експлуатації. При цьому результативність кожного прототипу інформаційного інтерфейсу визначається вектор-функцією $W(t)$. Баланс $\Omega_x(t)$, $\zeta_x(t)$ визначає криві $W_j(t)$, виключаючи $w_j^*(t)$ таку, що $w_j^*(t) \geq w_j(t)$ для всіх значень t у періоді розвитку інформаційних інтерфейсів.

Для згортання показників результативності при експертній оцінці на певному інтервалі часу, відповідному періоду розвитку, можна використовувати функцію $\alpha(t)$ таку, що (15):

$$\bar{w}_j = \frac{\sum_{t=0}^T w_j(t) \cdot \alpha(t)}{T+1}. \quad (15)$$

де T – тривалість періоду розвитку інтерфейсу, $\bar{w}_j$ – скалярний показник результативності з номером j .

Основні результати та висновки з перспективами. Отже, запропоновані формальні моделі дозволяють визначити динаміку розвитку інформаційних інтерфейсів в залежності від показників та їх рівнів ієрархії. Під час проектування та модернізації інформаційних інтерфейсів у судноводінні пропонується враховувати фактор ергономічності та зручності їх експлуатації. Представлені підходи дозволять перейти до модульних систем переконфігурації, що дадуть змогу більш гнучко застосовувати модель розвитку інформаційних інтерфейсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аверічев І. М. Аналіз основних причин аварій на морському та річковому транспорті України. *Водний транспорт*. 2013. Вип. 3. С. 100–103.
2. Arslan O., Er I. D. Effects of Fatigue on Navigation Officers and SWOT Analyze for Reducing Fatigue Related Human Errors on Board. *TransNav, The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea*.
3. Kasianov V. *Subjective entropy of preferences*. Istitutr of Aviation Scientific Publications. Warsaw, Poland : ALKOR, 2013. 637 p.
4. Berg H. P. Human Factors and Safety Culture in Maritime Safety. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* Vol. 7, Number 3, September 2013. P. 343–352.
5. Hetherington C., Flin R., Mearns K. Safety in shipping: The human element. *Journal of Safety Research*. Volume 37, Issue 4, 2006, P. 401–411.
6. Вагущенко Л. Л., Вагущенко А. А. *Судовые навигационно-информационные системы: учебное пособие*. Одесса : НУ «ОМА», 2016. 238 с.
7. Subject: IHO-New ECDIS Standards : веб-сайт. URL: http://www.irclass.org/media/1553/circular_no_20.pdf
8. Skjong R. (2006). Formal Safety Assessment – Electronic Chart Display and Information System : веб-сайт. URL: <http://research.dnv.com/skj/FSA-ECDIS/FSA%20ECDIS-Presentation.pdf> [Дата звернення: 12 January 15].
9. Clinch S. (2015). MAIB reports on ECDIS assisted grounding. *Marinelog.com*. веб-сайт. URL: http://www.marinelog.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=7734:maib-reports-on-ecdis-assistedgrounding&Itemid=231 [Дата звернення: 13 Jan. 2015].
10. International Organization for Standardization (ISO). (2002). the ISO Standard for the ECS Database: ISO 19379. Hydro International. 6, 40–56.
11. Marine Accident Investigation Branch, 2012. REPORT NO 2/2012, Grounding of CSL THAMES in the Sound of Mull 9 August 2011.
12. IMO RESOLUTION MSC. 232(82) adopted on 5 December 2006: Adoption of the Revised Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). Веб-сайт. URL: <http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/dataid%3D17269/232%2882%29.pdf>
13. Косенко Ю. І., Рослякова С. В., Носов П. С. Система ідентифікації функціональної ентропії суб'єкта критичної інфраструктури. *Современные направления теоретических и прикладных исследований : сб. научных трудов по матер. МНПК*. Том 8. Технические науки. Одесса : Купrienko, 2013. С. 50–54.
14. Носов П. С., Яковенко В. Д., Арбузова Ю. В.. Модель професійних знань суб'єктів критичних інфраструктур. *Управління проектами: стан та перспективи. Збірник наукових праць за матеріалами IX Міжнародної науково-практичної конференції*. Миколаїв : НУК, 2013. С. 212–215.

REFERENCES

1. Averichev, I. M. (2013). Analiz osnovny`x pry`chy`n avarij na mors`komu ta richkovomu transporti Ukrayiny. *Vodny`j transport*. Vol. 3, 100–103.
2. Arslan, O., Er, I. D. Effects of Fatigue on Navigation Officers and SWOT Analyze for Reducing Fatigue Related Human Errors on Board *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea*.
3. Krysylov, V. A. (2003). Otsenka slozhnikh ob`ektov – osnovnoi mekhanyzm pry reshenyy zadach kolychestvennoho obosnovanyia reshenyi. *Tr. Odes. polytekh. un-ta*. 1 (19). 102–106.
4. Berg, H. P. (2013). Human Factors and Safety Culture in Maritime Safety. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* Vol. 7, Number 3, 343–352.
5. Hetherington, C., Flin, R., & Mearns, K. (2006). Safety in shipping: The human element. *Journal of Safety Research*, Volume 37, Issue 4, 401–411.
6. Vagushhenko, L. L., & Vagushhenko, A. A. (2016). *Sudovie navygacyonno-y`nformacyonnse systemi: uchebnoe posobye*. Odessa : NU «OMA».
7. Subject: IHO-New ECDIS Standards. [www.irclass.org](http://www.irclass.org/media/1553/circular_no_20.pdf). Retrieved from http://www.irclass.org/media/1553/circular_no_20.pdf.
8. Skjong R. (2006). Formal Safety Assessment – Electronic Chart Display and Information System. Retrieved from <http://research.dnv.com/skj/FSA-ECDIS/FSA%20ECDIS-Presentation.pdf>.
9. Clinch, S. (2015). MAIB reports on ECDIS assisted grounding. [Online] [Marinelog.com](http://www.marinelog.com). Retrieved from http://www.marinelog.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=7734:maib-reports-on-ecdis-assistedgrounding&Itemid=231.
10. International Organization for Standardization (ISO). (2002). the ISO Standard for the ECS Database: ISO 19379. *Hydro International*. 6, 40–56.
11. Marine Accident Investigation Branch, (2012). REPORT NO 2/2012, Grounding of CSL THAMES in the Sound of Mull 9 August 2011.
12. IMO RESOLUTION MSC. 232(82) adopted on 5 December 2006: Adoption of the Revised Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). Retrieved from <http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/dataid%3D17269/232%2882%29.pdf>
13. Kosenko, Yu. I., Rosliakova, S. V., & Nosov, P. S. (2013). Systema identyfikatsii funktsionalnoi entropii subiekta krytychnoi infrastruktury. *Sovremennye napravleniya teoretycheskykh y prykladnykh yssledovanyi*. 50–54.
14. Nosov, P. S., Yakovenko, V. D., & Arbuzova Yu. V. (2013). Model profesijnyx znan` sub'yektiv kry`ty`chny`x infrastruktur. *Upravlinnya proektamy` : stan ta perspekty`vy`*. *Zbirny`k naukovy`x prac` za materialamy` IX Mizhnarodnoyi naukovo-prakty`chnoyi konferenciyi*. Mykolayiv : NUK. 212–215.

Носов П. С., Бень А. П., Носова Г. В., Карпова С. О. МОДЕЛИ И ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Целью статьи является разработка формальных моделей, которые описывают развитие информационных интерфейсов с учетом их результативности и временных затрат при эксплуатации на морском транспорте, что позволит улучшить показатели работоспособности членов вахтенной команды при исполнении ими профессиональных обязанностей. В статье проводится зависимость между конфигурацией информационных интерфейсов, таких, как ECDIS и судоводителями, принимающими управленческие решения на морском транспорте. Данная зависимость непосредственно влияет на уровень безопасности, что определяет цель статьи как актуальную. Рассмотрены вопросы развития информационных интерфейсов, его отдельных частей в виде оборудования и принципы конфигурации расположения. Предложены подходы статистического расчета эксплуатационных свойств информационных интерфейсов с применением экспертного оценивания.

Ключевые слова: формальные модели, информационные интерфейсы, управление судном, человеческий фактор.

Nosov P. S., Ben A. P., Nosova G. V., Karpova S. O. MODELS AND PRINCIPLES OF THE DEVELOPMENT OF INFORMATION INTERFACES IN MARITIME TRANSPORT

The purpose of the article is to develop formal models for the development of information interfaces. Their effectiveness and time costs for operation in maritime transport are taken into account. This will improve the performance of the members of the watch team during the performance of their professional duties. In the article, a relationship is made between the configuration of information interfaces (ECDIS) and navigators at the time of making managerial decisions on maritime transport. This dependency affects the level of security, which determines the relevance of the article. The issues of development of information interfaces and its separate parts in the form of equipment are considered, principles of configuration and location are proposed. The approaches of statistical calculation of the operational properties of information interfaces with application of expert estimation are offered.

Keywords: formal models, information interfaces, ship control, human factor.

© Носов П. С., Бенъ А. П., Носова Г. В., Карпова С. О.

Статтю прийнято
до редакції 14.06.18

КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ МАНЕВРОМ СУДНА У КАНАЛАХ

Петровський А. В., к.т.н., доцент Херсонської державної морської академії;

Бень А. П., к.т.н., проректор з науково-педагогічної роботи Херсонської державної морської академії, e-mail: a_ben@i.ua;

Ляшенко В. Г., старший викладач кафедри управління судном Херсонської державної морської академії;

Паламарчук І. В., аспірант Херсонської державної морської академії

У статті розглянуті проблеми і складнощі при здійсненні маневрів, зокрема повороту при проходженні каналів. Багатофакторність впливів зовнішнього середовища зумовлює складність сприйняття і своєчасного адекватного аналізу ситуації під час здійснення маневру повороту. Розглянуті в роботі новітні розробки систем управління не дозволяють з достатнім ступенем адекватності моделювати рух судна в каналі, і як наслідок – відсутність гарантії утримання судна на спланованій ECDIS траєкторії проходження фарватеру. Запропоновано концепцію побудови системи підтримки прийняття рішення для оптимального вибору варіанта управління маневром судна при проходженні каналів. Основою такої системи повинна стати база знань (БЗ) з правилами подібності умов проходження поворотів у каналах для коректного вибору з розробленою структурою даних для управляючих впливів як серед готових правильних рішень, так і помилкових, для надання оператору всіх альтернатив, їх кінцевого результату і можливості запису нового варіанту вирішення. Також увагу приділено структурі даних зовнішніх умов. Запропоновано пошук блочного типу в базі даних умов (БД) для зниження тимчасових витрат. Подальше наповнення БД і уточнення правил подібності БЗ дозволить знизити залежність безпеки проходження каналів від людського фактора.

Ключові слова: рух судна в каналі, маневри судна, оптимальні рішення.

Вступ. Останній час бурхливими темпами розроблюються бортові системи управління рухом судна. Різноманітність використаних прийомів моделювання доказує велику складність моделювання предметної сфери та недостатню адекватність наявних систем управління маневрами судна. Більшість наукових робіт пов'язана із побудовою математичних моделей руху судна. У роботах [1, 2] наведено огляд традиційних і розроблені нові математичні моделі, що становлять методологічну основу предметної сфери забезпечення безпеки колективного руху суден. Складність математичного моделювання руху судна в умовах хвилювання показово продемонстровано у роботах [3, 4], а особливості при здійсненні маневру у стиснених умовах – у [5, 6]. При проходженні каналів, операцій швартування, виникла потреба щодо моделювання руху судна в умовах спланованого дрейфу. Побудовані математичні моделі програвання розвитку ситуації в умовах координованого дрейфу [7] дозволяють їх використання як окремих модулів системи управління судном. Найбільш цікаве застосування керованого дрейфу маневрування при точному позиціонуванні суден, при маневруванні із заданим законом зміни курсу, наприклад, при обгинанні берегової лінії або у вузькостях. Технічним результатом розробленої системи визначення гідродинамічних коефіцієнтів математичної моделі руху судна [8] є: створення високоточної математичної моделі руху судна, параметри якої уточнюються в процесі рейсу судна; підвищення якості автоматичного управління рухом; підвищення безпеки проводки судна у вузькостях. Також цікавими для розгляду є способи: визначення параметрів математичної моделі руху судна [9], який заснований на використанні електронної моделі руху судна, та спосіб управління рухом судна за широтою та довготою [10]. Останній при використанні в якості навігаційної інформації широт і довгот підвищує точність управління рухом як у просторі, так і в часі. Розроблений спосіб управління рухом судна з компенсацією повільно мінливих збурень [11] більш адекватно описує ситуацію, яка може виникати при проходженні каналів, оскільки швидкість судів значно менше, ніж у відкритому морі, і більшість параметрів впливу на рух судна змінюють свої значення поступово (однак це більш справедливо для широких фарватерів). При використанні способу управління рухом судна по заданій

траєкторії [12] через фіксовані інтервали часу формують модуль першої різниці поточної широти судна і широти «попередження» точки повороту судна і модуль другої різниці поточної довготи судна і довготи «попередження» точки повороту судна.

Серед найсучасніших систем управління можна виділити інтелектуальні системи, де як модель об'єкта управління використовують нейромережеву модель об'єкта управління. Для налаштування параметрів алгоритмами нечіткої логіки отримують і ідентифікують дані руху судна по курсу і дані керуючих дій визначають дані критеріальних ознак руху судна та обирають нейромережеву модель об'єкта управління.

Однак всі вище перелічені системи управління мають поряд з перевагами суттєві недоліки: визначення прогнозованої траєкторії руху досить приблизне, позиціонування судна за допомогою GPS у каналах не є точним, також сучасні СУДС позиціонують судно з точністю 10–20 м, що у деяких випадках є критичним (наприклад, при проходженні каналів з досить вузьким фарватером).

Актуальність. Множинність факторів, що впливають на маневри судна, ускладнює коректний аналіз і вироблення оптимального рішення:

- течії з обох бортів судна можуть бути різними у разі зміщення фарватеру до одного з боків каналу;
- течія на закруті сильніше, ніж у протилежному боці каналу;
- осадка судна;
- глибина під кілем;
- відстань від фарватеру до берегів каналу;
- наявність хвилювання;
- швидкість судна;
- чи є зміщення центра мас;
- довжина судна;
- поворотність судна і т.д.

Саме тому поєднання всіх цих факторів не в змозі оцінити адекватно сучасні ПІД.

Всі розглянуті системи управління, зокрема й зі штучним інтелектом, мають недолік: вони оцінюють статус судна по міделю, тому знос корми або носа при проходженні каналів не своєчасно буде визначено системою управління. Тобто можна зробити висновок: з урахуванням указаних недоліків, розрахункові дані бортових систем управління або передані дані СУДС для позиціонування судна в каналі не є достовірними у певний період часу, що дозволяє стверджувати про необхідність подальшого розвитку таких систем управління та більш точного позиціонування судна. Альтернативним варіантом може бути також система зі штучним інтелектом на базі правил логічного виводу з більш точною системою позиціонування діаметральної лінії судна відносно фарватеру.

Постановка задачі. Необхідно побудувати окремий модуль загальної системи підтримки прийняття рішень (СППР) [13], який дозволить для оператора візуально відображати всі ефективні можливі наслідки запропонованих рішень, водночас у разі переключення на ручний режим управління відображати й усі можливі негативні наслідки. Також додатково система повинна у динамічному режимі відслідковувати дії оператора та відображати наслідки у разі позитивного пошуку серед подібних ситуацій результатів таких дій. Такий побудований модуль загальної СППР повинен мати можливість оновлення БД управляючих впливів та розширення БЗ правил подібності.

Основна частина. Запропоноване рішення передбачає включення роботи модуля по досягненню судном контрольної точки перед початком маневру (наприклад, перед поворотом) і вимикається автоматично після завершення маневру. Завершення маневру оцінюється по стабілізації курсу в контрольній точці каналу. Є російські розробки, у яких берегові СУДС можуть отримати точне положення судна в повороті каналу завдяки гідроакустичним датчикам, підключеним до неї, і розташованим у небезпечних місцях повороту каналу. Гідроакустичні датчики точно позиціонують ніс і корму судна (а не по міделю) у фарватері.

У такому разі отримані дані СУДС може передати СППР, яка надасть їх виконуючому проводку судна модулю. Він, зі свого боку, порівнюючи ці дані з бортовим GPS, оцінює стан судна, водночас більшу довіру для нього матимуть дані СУДС, також модуль зможе контролювати бортовий GPS даними від системи позиціонування СУДС. У разі великої розбіжності - сигнал небезпеки в ECDIS.

Оож, місце функціонування модуля на загальній схемі СППР (N) представлено на рис. 1.

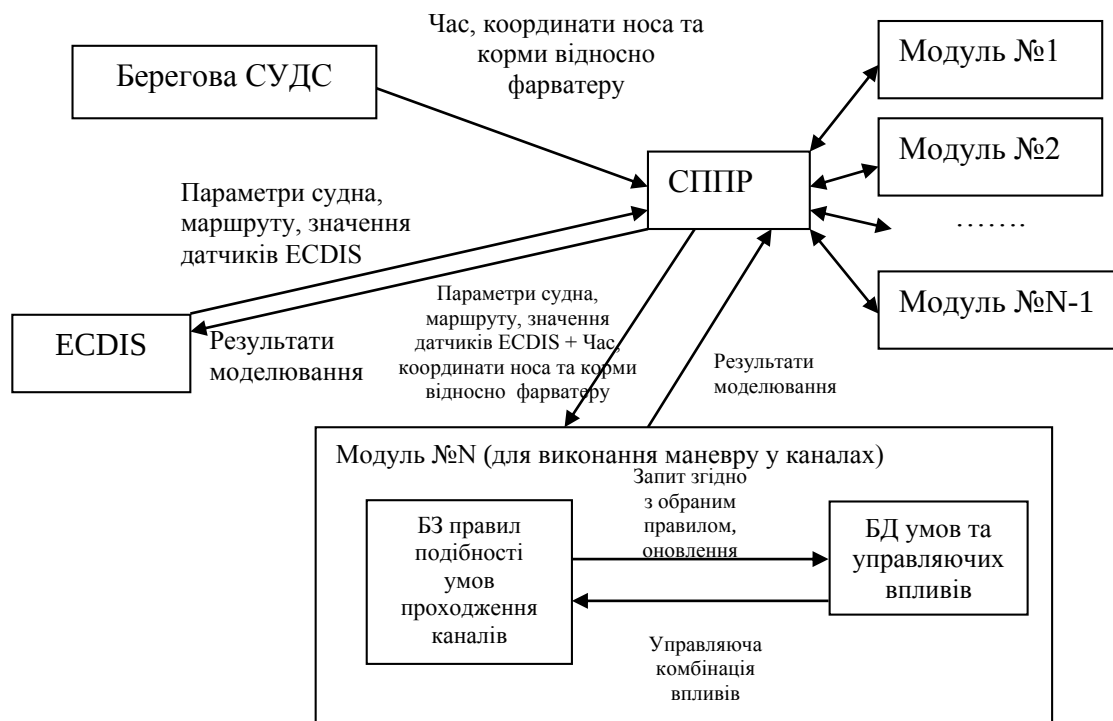


Рисунок 1 – Схема функціонування запропонованого модуля у складі СППР

БД складається з векторів даних аналогічних або дуже близьких до умов даної ситуації з відповідними методами впливу з контролю за спланованою траєкторією маневру по алгоритмах, що оптимізують цей час вибірки (табл. 1).

БД містить матрицю умов і матрицю впливів. Остання формується спочатку за спостереженнями експертів (це може бути капітанська рада та/або представники розробленої СУДС для місцевого застосування), потім можна додавати альтернативні управляючі впливи в разі вдалого завершення маневру у ручному режимі з аналогічними умовами для його проведення. Кожна матриця водночас може мати блочну структуру (згідно з прикладом градації табл. 1), дані в яку заносяться за умовами: кут повороту каналу, ширина фарватеру і т.д. Блочність необхідна для зниження часу пошуку необхідних умов як для вибірки впливу, так і для подальшого запису результату маневру. Реалізується принцип мотрійки. Ознаками початку і закінчення кожного блоку може бути будь-який маркер або умова визначення початку і кінця блоку. Тобто така структура буде порівнянна з роботою жорсткого диска із системою позиціонування головок замість послідовного доступу, як наприклад, в інтерфейсі USB. Поряд з цим можна вести БД протилежної спрямованості, наприклад, історію невдалих маневрів за аналогічних умов. Отже, оператор зможе одночасно переглянути вдалі і невдалі результати для прийняття оптимального вибору. Кінцевою метою розробки такої системи управління є графічне відтворення списку вдалих маневрів в ECDIS для кожного повороту в обраному каналі.

Таблиця 1 – Приклад структури даних

Діапазони швидкості судна	Поворот (G ₁ ..G ₂) ⁰																	
	Ширина фарватеру (b ₀ ..b ₁).....																	
	Проти течії										За течією							
	(V _{T1} .. V _{T2}]						(V _{T2} .. V _{T3}]		...	(V _{Tn-1} .. V _{Tn}]		(V _{T1} .. V _{T2}]		(V _{T2} .. V _{T3}]		...	(V _{Tn-1} .. V _{Tn}]	
	Напрямок вітру																	
	1			2	3	4	5	6	1	2								
	Коефіцієнт поворотності																	
	k ₁ ..k ₂		k ₂ ..k ₃		...	k _{n-1} .. k _m												
(V _{C1} ..V _{C2}]																		
(V _{C2} ..V _{C3}]																		
...																		
(V _{Cp-1} ..V _{Cp}]																		

Кожна ситуація з обраного блоку умов має свій інтегрований ступінь приналежності до поточної ситуації. Кожен параметр має свій ступінь впливу на знесення судна з траєкторії. Чим більше таких відмінних від поточних значень параметрів, тим менше значення інтегрованої функції приналежності. Правило визначення значення ступеня приналежності можливе за математичними моделями (сила течії, сила вітру і напрямки і т.д.). Правило визначення аналогічної ситуації, якщо точно такої комбінації умов у БД немає, формується згідно з БЗ:

$(G_1..G_2)^0$ – перший діапазон градусів кута повороту. Далі формування діапазону градусів формується згідно за ще однієї БД усіх наявних каналів, як джерело даних, де можливе проходження для даного типу судна. Крок дискретизації є суто експериментальним, який можна визначати методом експертного оцінювання;

$(b_1..b_2)$ - перший діапазон ширини фарватеру, м (принцип подальшого ділення на діапазони такий самий);

$(V_{T1}..V_{T2})$ - перший діапазон швидкості течії (у разі проходження проти течії необхідно вводити від'ємні значення);

1...6 – усі можливі напрямки вітру (1 – крутий бейдевінд (30° – 45°), 2 – повний бейдевінд (45° – 75°), 3 – гальфвінд (навколо 90°), 4 – бакштаг (110° – 160°), 5 – фордевінд (160° – 200°), 6 – левентик (по 30° на кожен борт);

$k_1..k_2$ – перший діапазон коефіцієнтів поворотності (інтегральний показник, який можна порахувати у відкритій воді з використанням нейромережевої технології);

$(V_{C1}..V_{C2})$ – перший діапазон власної швидкості судна відносно води.

Всі інші показники: розташування руля та кількість гвинтів, розміри та конфігурація руля, коефіцієнт загальної повноти, співвідношення швидкості судна і вітру, його напрямок, диферент, крен, наявність активних рулів, наявність роздільних поворотних насадок для двогвинтових суден, відношення осадки судна до його довжини, відношення ширини до осадки, курсові кути вітрових хвиль – також беруть участь у формуванні БД. Частку з них можливо визначити з таблиць технічних характеристик судна або розрахувати, а форму корми, носових утворень судна – замінити інтегральним коефіцієнтом.

Діапазони всіх параметрів у стовпчиках залежно від кута повороту, обраного за маршрутом, отриманого від ECDIS, можуть бути більш детальними (це залежить також від ширини фарватеру, при якій є потреба відповісти на питання: наскільки критичним є зміна того чи іншого параметра). Кожен діапазон будь-якого параметра – це майбутні значення області розсуду лінгвістичних змінних.

Надалі формують БЗ з правил подібності за допомогою експертів.

Висновки. Розроблено концепцію створення та структуру додаткового програмного модуля для загальної СППР [13], функцією якого є провідка судна у каналах при здійсненні маневру повороту. Подальшим розвитком є побудова правил подібності для наповнення БЗ,

детальна проробка методу блочного пошуку та визначення даних для заповнення БД. Оскільки дані будуть інтервального типу, то передбачається використання апарату нечіткої логіки. Альтернативою правил подібності може бути застосування методу аналізу ієрархій за значеннями інтегральних ступенів приналежності умов. У цьому випадку кінцевий варіант (аналог «подібного»), з максимальним підсумковим значенням є оптимальним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гриняк, В.М. Математические модели и методы обеспечения навигационной безопасности коллективного движения судов: монография / В.М. Гриняк. – Владивосток: ВГУЭС, 2015. – 180 с.
2. А. А. Александров. Справочник по управлению кораблем [Электронный ресурс] / А. П. Броневицкий, В. А. Кузнецов, Г. М. Кузнецов, А. Б. Орлов. – Москва: Военное издательство Министерства Обороны СССР, – 1974. – Режим доступа: <https://flot.com/publications/books/shelf/conning/37.htm>
3. Чижиумов С. Д. Основы динамики судов на волнении: учеб. пособие / С. Д. Чижиумов. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2010. – 110 с.
4. Юдин Ю.И. Математические модели плоскопараллельного движения судна. Классификация и критический анализ / Ю.И. Юдин, И.И. Сотников. – Мурманск: МГТУ, 2006. – 95с.
5. Абдуллаева З.М. Результаты моделирования движения судна на мелководье / З.М. Абдуллаева, Г.К. Асланов, М.Л. Яхьяев // Вестник ДГТУ. – 2015. - №1(36). – С.45-53.
6. Пазынич А.И. Математическое моделирование маневрирования методом управляемого дрейфа / А.И. Пазынич, С.Н. Кузьменко, А.С. Кузьменко // Transport business in Russia. – 2015. – №5. С.153-157.
7. Патент России 2537080, Система определения гидродинамических коэффициентов математической модели движения судна / Тарасов Н.Н. Острецов Г.Э.
8. Патент России 2197016, Способ определения параметров математической модели движения судна / Острецов Г.Э., Клячко Л.М.
9. Патент России 2516885, Способ управления движением судна по широте и долготе / Острецов Г.Э., Памухин В.Ю.
10. Патент России 2492105, Способ управления движением судна с компенсацией медленно меняющихся возмущений / Тарасов Н.Н. Острецов Г.Э.
11. Патент России 2465169, Способ управления движением судна по заданной траектории / Дорри М.Х., Острецов Г.Э., Роцин А.А.
12. Патент России 2519315, Способ автоматического управления судном по курсу и интеллектуальная система для осуществления способа / Седова Н.А.
13. Бень А.П. Принципы построения систем поддержки принятия решения судоводителя в рамках концепции e-navigation / А.П. Бень, И.В. Паламарчук – Науковий вісник ХДМА. – №2(13). – 2015. – С. 19-24.

REFERENCES

1. Griynyak V.M. Matematicheskie modeli s metodi opredeleniya navigatsionnoy bezopasnosti kolektivnogo dvijeniya sudov monografiya / V.M. Grinyak. – Vladivostok : VGUES 2015. – 180 s.
2. A. A. Aleksandrov. Spravochnik po upravleniyu korablem [Elektronnyi resurs] / A. P. Bronevickii_ V. A Kuznecov_ G. M. Kuznecov_ A. B. Orlov. – Moskva_ Voennoe izdatelstvo Ministerstva Oboroni SSSR_ – 1974. – Rejim dostupu_ <https://flot.com/publications/books/shelf/conning/37.htm>
3. Chijumov S. D. Osnovy dinamiki sudov na volnenii: ucheb. posobie / S. D. Chijumov. – Komsomolsk-na-Amure: GOUVPO «KnAGTU», 2010. – 110 s.
4. Iudin Iu.I. Matematicheskie modeli ploskoparallelnogo dvijeniia sudna. Klassifikatsiia i kriticheskii analiz / Iu.I. Iudin, I.I. Sotnikov. – Murmansk: MGTU, 2006. – 95s.
5. Abdullaeva Z.M. Rezultaty modelirovaniia dvijeniia sudna na melkovode / Z.M. Abdullaeva, G.K. Aslanov, M.L. Iahiaev // Vestnik DGTU. – 2015. - №1(36). – S.45-53.

6. Pazynich A.I. Matematicheskoe modelirovanie manevrirovaniia metodom upravliaemogo dreifa / A.I. Pazynich, S.N. Kuzmenko, A.S. Kuzmenko // Transport business in Russia. – 2015. – №5. – S.153-157.
7. Patent Rossii 2537080, Sistema opredeleniia gidrodinamicheskikh koeffitsientov matematicheskoi modeli dvizheniia sudna / Tarasov N.N. Ostretsov G.E.
8. Patent Rossii 2197016, Sposob opredeleniia parametrov matematicheskoi modeli dvizheniia sudna / Ostretsov G.E., Kliachko L.M.
9. Patent Rossii 2516885, Sposob upravleniia dvizheniem sudna po shirote i dolgote / Ostretsov G.E., Pamuhin V.Iu.
10. Patent Rossii 2492105, Sposob upravleniia dvizheniem sudna s kompensatsiei medlenno meniaiuihsia vozmuenii / Tarasov N.N. Ostretsov G.E.
11. Patent Rossii 2465169, Sposob upravleniia dvizheniem sudna po zadannoi traektorii / Dorri M.H., Ostretsov G.E., Roin A.A.
12. Patent Rossii 2519315, Sposob avtomaticheskogo upravleniia sudnom po kursu i intellektualnaia sistema dlia osuestvleniia sposoba / Sedova N.A.
13. Ben A.P. Printsipi postroeniia sistem podderjki priniatiia resheniia sudovoditelia v ramkah kontseptsii e-navigation / A.P. Ben, I.V. Palamarchyk - Naukovii visnik HDMA. – № 2 (13). – 2015. – S. 19-24.

Петровский А. В., Бень А. П., Ляшенко В. Г., Паламарчук И. В. КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МАНЕВРОМ СУДНА В КАНАЛАХ
В статье рассмотрены проблемы и сложности при осуществлении маневров, в частности, поворота при прохождении каналов. Многофакторность влияний внешней среды обуславливает сложность восприятия и своевременного адекватного анализа ситуации во время осуществления маневра поворота. Рассмотренные в работе новейшие разработки систем управления не позволяют с достаточной степенью адекватности моделировать движение судна в канале, и как следствие – отсутствие гарантии удержания судна на спланированной ECDIS траектории прохождения фарватера. Предложена концепция построения системы поддержки принятия решения для оптимального выбора варианта управления маневром судна при прохождении каналов. Основой такой системы должна стать база знаний (БЗ) с правилами подобия условий прохождения поворотов каналами для корректного выбора из разработанной структуры данных для управляющих воздействий как среди готовых правильных решений, так и ошибочных, для предоставления оператору всех альтернатив, их конечного результата и возможности записи нового варианта решения. Также внимание уделено структуре данных внешних условий. Предложен поиск блочного типа в базе данных (БД) для снижения временных затрат. Дальнейшее наполнение БД и уточнения правил подобия БЗ позволит снизить зависимость безопасности прохождения каналов от человеческого фактора.

Petrovskii A. V., Benj A. P., Lyashenko V. G., Palamarchuk I. V. CONCEPT OF THE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR CONTROL BY THE VESSEL MANEUVER IN CHANNELS

The article discusses the problems and difficulties in the implementation of maneuvers, in particular, turning during movement of channels. The multifactorial nature of the external environment influences the complexity of perception and timely adequate analysis of the situation during the implementation of the turn maneuver. The newest developments of control systems considered in the article do not allow modeling the ship's movement in the canal with sufficient degree of adequacy, and as a result - there is no guarantee of keeping the vessel on the fairway trajectory planned by ECDIS. The concept of constructing a decision support system for the optimal choice of the maneuver control option for the movement of channels is proposed. The basis of such a system should be the knowledge base (KB) with the rules for the similarity of the conditions for the movement of channel turns for the correct choice of the developed data structure for control actions, both among the ready correct solutions and erroneous ones, to provide the operator with all the alternatives, their final result and the possibility of recording a new version of the solution. Attention is also turned to the structure of these external conditions. A search for a block type in a database (DB) is proposed to reduce time costs. Further filling the database and clarifying the rules of similarity of the KB will reduce the dependence of the security of the movement of channels on the human factor.

© Петровський А. В., Бень А. П., Ляшенко В. Г., Паламарчук І. В.

Статтю прийнято
до редакції 26.05.18

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Б

Бень А. П., 178, 186
Бурак О. О., 49

В

Вильський Г. Б., 164
Вошанова Ю. В., 100

Г

Голощাপов С. С., 108
Грошева О. О., 18, 171

Д

Давидов В. С., 4
Дніпровський Ф.С., 86

З

Зайцева Т. В., 68
Зінченко С. Г., 10
Зінченко С. М., 18, 171
Зуєв В. О., 129

І

Іщенко І. М., 108

К

Казак Ю. В., 41
Камінська Н. Г., 68
Карпова С. О., 178
Кашицький В. П., 137
Кириченко К. В., 60
Кравцова Л. В., 68

Л

Лелеко М. В., 27
Лошкарьов О. Г., 34
Люшук О. М., 137
Ляшенко В. Г., 18, 186

М

Маменко П. П., 171
Матрунчик Д. М., 137

Н

Носов П. С., 178
Носова Г. В., 178

О

Овчіннікова А. І., 4

П

Паламарчук І. В., 186
Панченко І. М., 34
Пасечнюк С. С., 41
Петровський А. В., 186
Поляков В. О., 115
Проценко В. О., 120

Р

Рабінович Е. Х., 129
Радов А. А., 164

С

Савчук П. П., 137
Самарін О. Є., 146
Северін В. В., 41
Скиданчук С. О., 79

Т

Тимофєєв К. В., 108
Тихонов І.В., 86
Ткач Є. В., 100
Товстокорій О. М., 49

У

Удовицька Ю. А., 137

Ф

Фєдоров А. І., 55

Х

Хачапуридзе М. М., 115

Ш

Шиндерук С. О., 155

Я

Яглицький Ю. К., 60

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;

колонтитули – 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, які 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 напрямам журналу. Рукописи авторам не повертаються.

ЗМІСТ

МОРСЬКИЙ РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

<i>Давыдов В. С., Овчинникова А. И.</i>	4
ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СУДОВОЖДЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СУДОВ И СОСТАВОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ПЛАВАНИЯ И УСТЬЯХ РЕК ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КООРДИНАТНОГО КУРСОРА ЭКНИС В РЕЖИМЕ ВЫСОКОТОЧНОГО УГЛОМЕРНО-ДАЛЬНОМЕРНОГО УСТРОЙСТВА	
<i>Зинченко С. Г.</i>	10
ОЦЕНКА ПРЕДЕЛА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОРСКОГО ПОРТА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД	
<i>Зинченко С. Н., Ляшенко В. Г., Грошева О. А.</i>	18
СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ С ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ	
<i>Лелеко Н. В.</i>	27
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПЕРАТОРА С СИСТЕМОЙ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ	
<i>Лошкарев А. Г., Панченко И. Н.</i>	34
ЭТИ НЕРЕГИСТРОВЫЕ ТОННЫ	
<i>Северин В. В., Казак Ю. В., Пасечнюк С. С.</i>	41
АНАЛИЗ ВЕКТОРИАЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ	
<i>Товстокорий О.М., Бурак О.О.</i>	49
ВИЗНАЧЕННЯ ГАЛЬМІВНОГО ШЛЯХУ НА МІЛКОВОДДІ	
<i>Федоров А. І.</i>	55
ОПТИМІЗАЦІЯ ВАНТАЖНОГО ПЛАНУ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ	
<i>Яглицький Ю. К., Кириченко К. В.</i>	60
ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОНТОНА ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ДОКА	

ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

<i>Зайцева Т. В., Кравцова Л. В., Камінська Н. Г.</i>	68
УПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС	

Скиданчук С.А. ВИКОРИСТАННЯ НАВЧАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО СИМУЛЯТОРА «ДИСТАНЦІЙНА АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ГОЛОВНИМ ДВИГУНОМ» У ПРОЦЕСІ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ІНЖЕНЕРІВ-СУДНОМЕХАНІКІВ	79
---	-----------

Тихонов І.В., Дніпровський Ф.С. СТВОРЕННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕЄСТРАЦІЇ ТА ПЕРЕВІРКИ ДОКУМЕНТІВ МОРЯКІВ УКРАЇНИ	86
---	-----------

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Ткач Е. В., Вошанова Ю. В. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАДАЧ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ УКРАИНЫ	100
--	------------

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

Голощанов С. С., Ищенко И. М., Тимофеев К. В. РАСЧЕТ АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО ДВИГАТЕЛЯ С ДВУХСЛОЙНЫМ РОТОРОМ	108
--	------------

Поляков В. А., Хачапуридзе Н. М. РЕДУКЦИОННЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ УПРАВЛЕНИЙ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА	115
--	------------

Проценко В. О. ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ПОСАДОК ТА РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЗАКРІПЛЕННЯ СТАЛЕВИХ КАНАТІВ	120
--	------------

Рабинович Э. Х., Зуев В. А. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПО ПАРАМЕТРАМ РАЗГОНА И ВЫБЕГА МАШИНЫ	129
--	------------

Савчук П. П., Кашицкий В. П., Люшук О. М., Матрунчик Д. М., Удовиська Ю. А. ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ПОЛІНАПОВНЕНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ	137
---	------------

Самарін О. Є. МЕХАНІЧНИЙ ПРИВІД РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛА СУДНОВОГО МАЛООБЕРТОВОГО ДВИГУНА	146
--	------------

Шиндерук С. А. ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ВЫРАВНИВАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ЗАГОТОВКИ В ИИС С ОДНИМ ВИТКОМ	155
---	------------

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Вильский Г. Б., Радов А. А. ПРОБЛЕМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ ВИРУСОВ ПРОНИКНОВЕНИЯ	164
Зинченко С. Н., Маменко П. П., Грошева О. А. СОКРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЧИСЛЕННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СУДНА В БОРТОВОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЕ	171
Носов П. С., Бень А. П., Носова Г. В., Карпова С. О. МОДЕЛІ І ПРИНЦИПИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ	178
Петровський А.В., Бень А.П., Ляшенко В.Г., Паламарчук І.В. КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ МАНЕВРОМ СУДНА У КАНАЛАХ	186
ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК	192
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ	193

НОТАТКИ

Науковий журнал

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

№ 1 (18), 2018

Відповідальний за випуск *Р. Є. Врублевський*
Технічний редактор, комп'ютерна верстка *О. Ю. Клементьєва*
Коректор *Н. М. Грем*
Друк, фальцювальню-палітурні роботи *В. Г. Удов*

Підписано до друку 26.08.2018. Формат 84×108/32.
Папір офсетний.
Ум. др. арк. 15,75. Наклад 100 прим.

Видавець і виготовлювач ХДМА
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4319 від 10.05.2012
73000, м. Херсон, просп. Ушакова, 20