

ISSN 2077-3617

Міністерство освіти і науки України

Херсонська державна морська академія

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

Науковий журнал

№ 1 (8)

Херсон
2013



Науковий вісник Херсонської державної морської академії : Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2013. – № 1 (8). – 332 с.

Засновник і видавець – Херсонська державна морська академія

Рекомендовано до друку на засіданні Вченої Ради Херсонської державної морської академії 26.06.2013 р., протокол № 13.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

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

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

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

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

Члени редакційної колегії:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Адреса редакційної колегії:

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

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

Зареєстровано у Вищій атестаційній комісії України постановою президії ВАК України від 30 березня 2011 року №1-05/3 (бюлетень ВАК України №5, 2011)

ISSN 2077-3617

© Науковий вісник Херсонської державної морської академії, 2013



МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ



УДК 621.3.010 (31)

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КОМАНДОЙ МОСТИКА

Бобир В.А., Катеруша В.И.

Одесская национальная морская академия

В статье обоснована возможность применения аппарата теории надежности функционирования сложных технических систем к системе менеджмента командой мостика на морском флоте с целью повышения безопасности мореплавания. Приведены практические примеры оценки надежности контроля над «человеческим фактором» в системе менеджмента командой мостика, а также практические рекомендации по использованию этих оценок для повышения надежности системы менеджмента командой мостика на судах. Определены перспективы дальнейшей работы по данному направлению.

Ключевые слова: системы менеджмента, команда мостика, человеческий фактор, надежность, доверительная вероятность, безотказная работа, существенные функции.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. В настоящее время повышение безопасности мореплавания связано, в первую очередь, с повышением надежности предотвращения проявления «человеческого фактора» и контроля над ним в системах менеджмента [1]. Прежде всего, это касается системы менеджмента командой мостика.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Основой для разработки методов оценки надежности предотвращения проявления «человеческого фактора» и контроля над ним на морском флоте, во-первых, является то, что на судах имеется статистика «отказов» за многие годы по результатам различных проверок (инспекций) судов. Во-вторых, то, что на судах внедрены системы менеджмента, для оценки эффективности и результативности работы которых используются методы теории надежности. В третьих то, что вопросы теории и практики расчета и оценки надежности функционирования сложных технических систем в литературе и исследованиях освещены достаточно полно. Элементы этих систем представляют собой простейшие их части – функциональные, конструктивные, схемные, оперативные и т.д. Системы менеджмента – это также объекты, представляющие собой совокупность функциональных и системных элементов, взаимодействующих в процессе выполнения определенного круга задач. Поэтому к ним в полной мере применим аппарат теории надежности.

В авиации и на железнодорожном транспорте имеются исследования «человеческого фактора» с позиций теории надежности как объекта и элемента функционирования сложных систем [3, 4]. Они также могут способствовать рассмотрению «человеческого фактора» с позиций теории надежности и на морском флоте.

Однако серьезным недостатком исследований в области надежности на транспорте является то, что в них оценка показателей надежности не связана напрямую с «человеческим фактором» [1, 5]. Кроме того, в исследованиях в области надежности на морском флоте отсутствуют практические рекомендации, как повысить надежность «человеческого фактора», если установлено, что она недостаточна.

Формулирование целей статьи и постановка задачи. Цель статьи – обосновать теоретическую возможность применения аппарата теории надежности функционирования сложных технических систем к системе менеджмента командой мостика на морском флоте.

Задача статьи – используя аппарат теории надежности, дать практические примеры оценки надежности контроля над «человеческим фактором» в системе менеджмента командой мостика, а также практические рекомендации по использованию этих оценок для повышения надежности системы менеджмента командой мостика на судах.



Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. Прежде всего, ограничим наше исследование по повышению надежности навигационной безопасности мореплавания вопросами, связанными с системой менеджмента командой мостика, и определим понятие «человеческий фактор».

Под надежностью команды мостика – капитана, его помощников и матросов – вперёдсмотрящего и рулевого, понимается способность системы менеджмента командой мостика выполнять поставленные задачи в заданных условиях эксплуатации судна в соответствии с законодательными и регламентирующими требованиями таким образом, чтобы не были нанесены убытки участникам процесса морской перевозки – судну, его экипажу, судовладельцам, фрахтователям, грузовладельцам, третьим лицам и окружающей среде.

В Циркуляре ИМО MSC 827 под «человеческим фактором» понимаются непреднамеренные или преднамеренные ошибочные или неправильные действия членов экипажа при управлении техникой и оборудованием как в обычных эксплуатационных, так и экстремальных условиях, которые могли привести или привели к нанесению любого вреда или ущерба для жизни отдельных людей, человеческого сообщества в целом и/или для окружающей среды

С точки зрения теории надежности элемент системы менеджмента командой мостика – это объект, представляющий собой простейшую часть системы, для которого дальнейшая детализация в пределах проводимого анализа для целей надежности не представляет существенного интереса.

Элементы системы менеджмента командой мостика – это: (1) цели и задачи, (2) организационная структура, (3) ресурсы – члены команды мостика, (4) обязанности членов команды мостика, (5) правила выполнения работ командой мостика, (6) действия команды мостика и (7) отчетные документы. Каждый из этих элементов может рассматриваться как объект, но в зависимости от целей может рассматриваться и как состоящий из более простых объектов. Например, в ресурсах команды мостика для целей контроля «человеческого фактора» каждого члена команды мостика необходимо рассматривать как объект.

На практике, при проектировании или разработке систем менеджмента величина вероятности безотказной работы задается. Ее принято называть доверительной вероятностью. Так, например, 23 Ассамблея ИМО Резолюцией A.953.(23) постановила, что доверительная вероятность при определении места судна должна быть не менее 0,95. В дальнейшем будем считать, что такая доверительная вероятность является характеристикой надежности работы команды мостика.

Компания может установить и более высокую доверительную вероятность в своей системе менеджмента. Например, на многих передовых предприятиях принята система менеджмента, которая называется «шесть сигм» (6σ). Она обеспечивает доверительную вероятность безотказной работы 0,999997.

Чтобы применить аппарат теории надежности к системе менеджмента командой мостика (СМКМ), необходимо рассмотреть элементы этой системы с позиций этой теории.

Цель и задачи СМКМ. Цели находят отражение в заявлении компании о намерениях – в политике в области системы менеджмента, а задачи – в конкретизации этих намерений на заданный период. С точки зрения теории надежности цель СМКМ – обеспечить заданную доверительную вероятность работы команды мостика – 0,95. Задача – предотвратить проявление «человеческого фактора», взяв под контроль действия каждого члена команды мостика при выполнении его функций, например, при подготовке судна к выходу в море, удержании судна на заданном пути, безопасном расхождении с судами и т.д.

Организационная структура СМКМ. Говоря терминами теории надежности, необходимо определить количество элементов системы менеджмента командой мостика



или, другими словами, количественный состав команды мостика для различных условий эксплуатации судна. В зависимости от условий плавания команда мостика может состоять и из одного ее члена. Поэтому примем, что доверительная вероятность безотказной работы члена команды мостика не должна быть менее требуемой доверительной вероятности работы команды мостика 0,95.

Ресурсы СМКМ. Как уже говорилось, основным показателем надежности работы члена команды мостика является вероятность его безотказной работы в течении заданного времени работы.

В настоящее время в соответствии с регламентирующими требованиями Международной конвенции СОЛАС (Глава 9 – Международный кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения) на судах ведется учет «отказов» – несоблюдений требований членами экипажа и допускаемых ими опасных происшествий. Эти данные позволяют на основе [2] получить статистическую оценку вероятности безотказной работы члена команды мостика по формуле:

$$P(t) = 1 - n(t)/N(0), \quad (1)$$

где $n(t)$ – число несоблюдения требований и опасных происшествий члена команды мостика за время t ; $N(0)$ – число действий, которые член команды мостика должен выполнить за время t , например, за ходовую вахту в соответствии с законодательными и регламентирующими требованиями системы менеджмента.

Пример 1. За время работы в составе команды мостика один из ее членов в соответствии с требованиями системы менеджмента выполнил $N(0) = 135$ операций и при этом допустил $n(t) = 5$ «отказов» – нарушений законодательных и регламентирующих требований системы менеджмента. По формуле (1) определяем, что оценка доверительной вероятности его работы равна 0,96. Такие данные нужно получить для каждого члена команды мостика.

При рассмотрении члена команды мостика, как объекта системы менеджмента, следует учитывать, что он обладает одним очень естественным свойством: с течением времени у члена команды мостика может возрасти интенсивность отказов или может убывать, так называемое, остаточное время жизни и т. п. Могут быть и другие сходные признаки «старения». Такое распределение времени до отказа относится к классу «стареющих» распределений. Типичным в этом смысле является нормальное распределение [2], для которого оценки показателей надежности можно определить по известным значениям оценок математического ожидания T и дисперсии σ^2 времени работы члена команды мостика до «отказа»:

$$T = \frac{1}{N(0)} \sum_{i=1}^{N(0)} t_i, \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N(0)} (t_i - T)^2}{n - 1}, \quad (3)$$

где t_i – реализация времени работы до отказа i -го члена команды мостика.

Пример 2. Оценка математического ожидания времени безотказной работы члена команды мостика $T = 100$ дней, $\sigma^2 = 1000$ дней². Определить, при каком значении t нижняя граница вероятности безотказной работы члена экипажа будет менее заданной, то есть, $P(t) \leq 0,95$. Другими словами, нужно определить время, когда этот член команды мостика не сможет обеспечивать требуемую надежность системы менеджмента. Тогда, на основе [2], получаем $t/T = 0,2$, а $t = 20$ дней. Это значит, что после трех недель



нахождения этого члена команды мостика на борту в зависимости от тяжести его «отказов» необходимо принимать соответствующие меры, требуемые системами менеджмента – коррекцию, корректирующие и предупредительные мероприятия, чтобы обеспечить заданную доверительную вероятность.

Следует обратить внимание на то, что зачастую на практике оценки доверительных вероятностей отдельных членов команды мостика оказываются меньше 0,95. Но и в этом случае, используя подход с позиций теории надежности, можно обеспечить требуемую надежность работы команды.

Наличие оценок доверительных вероятностей всех членов команды мостика позволяет определить до начала ее работы, обеспечит ли она в целом требуемую доверительную вероятность. Для этой цели используется формула полной вероятности:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot P(A/H_i), \quad (4)$$

где $P(t)$ – доверительная вероятность действий команды мостика; $P(H_i)$ – доверительная вероятность члена команды H_i ; $P(A/H_i)$ – условные вероятности события A при члене команды H_i ; $i = 1, 2, \dots, n$ – число объектов [7].

Пример 3. Результаты работы трех членов команды мостика образуют полную группу «несовместных» событий. Доверительные вероятности членов команды мостика: $P(H_1) = 0,95$, $P(H_2) = 0,90$, $P(H_3) = 0,92$. Нагрузка на членов команды мостика распределена следующим образом: на первом 50%, на втором – 20% и на третьем – 30%. Определить, обеспечит ли данная команда мостика доверительную вероятность своей работы 0,95. По формуле (4) получаем:

$$P(t) = \frac{50}{100} 0,95 + \frac{20}{100} 0,90 + \frac{30}{100} 0,92 = 0,931.$$

Из этого следует, что данная команда мостика не обеспечивает доверительную вероятность своей работы 0,95. Поэтому нужно принимать меры или по увеличению доверительной вероятности некоторых членов команды мостика, или изменению распределения нагрузки на них или режима их работы – резервирования, режима совместных событий и т.п. Например, если с помощью предупредительных мер, предусмотренных системой менеджмента, обеспечить доверительную вероятность второго и третьего членов команды мостика на уровне 0,94, то доверительная вероятность работы команды мостика будет близка к требуемой.

Обязанности членов команды мостика. Для определения обязанностей членов команды мостика с позиций теории надежности необходимо установить, в каком вероятностном режиме каждый из них должен работать при выполнении той или иной операции. Вероятностный режим работы команды мостика устанавливается капитаном. К таким режимам работы относятся, например, режим резервирования одного элемента, режимы несовместных событий, независимых событий, зависимых событий, независимых в совокупности событий и др. При одной и той же доверительной вероятности отдельных членов команды мостика при разных вероятностных режимах работы команды ее доверительная вероятность может значительно изменяться.

Рассмотрим возможности выбора вероятностных режимов работы команды мостика, хотя эти возможности и ограничены, так как количество членов команды обычно не превышает трех–пяти человек.

Один из вариантов – резервирование одного элемента. Это значит, что два члена команды мостика будут выполнять одну и ту же операцию независимо друг от друга. Например, место судна определяется с помощью основного способа одним членом команды мостика, а с помощью резервного – другим. Вероятность безотказной работы команды мостика в этом случае определяется по формуле:



$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)], \quad (5)$$

где $n = 1, 2, \dots, i$ – число элементов команды мостика, работающих в режиме резервирования; $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го члена команды мостика [2].

Пример 4. Два члена команды мостика определяют параметры движения судов для безопасного расхождения с ними – один с помощью САПП, а другой – по данным РЛС. Доверительная вероятность одного члена команды мостика – 0,85, а другого – 0,90. Определить доверительную вероятность команды мостика при выполнении этой операции. Используя формулу (5), получаем:

$$P(t) = 1 - (1 - 0,85)(1 - 0,90) = 0,985.$$

Как видим, надежность режима резервирования очень высока даже при не очень высоких доверительных вероятностях отдельных членов команды мостика.

На практике иногда возникает необходимость, чтобы члены команды мостика выполняли одну и ту же функцию вдвоем, то есть, работали в режиме совместных событий. Вероятность безотказной работы команды мостика в этом случае определяется по формуле:

$$P(t) = P(A) + P(B) - P(AB), \quad (6)$$

где $P(A)$ и $P(B)$ – доверительные вероятности первого и второго членов команды мостика; $P(A + B)$ – вероятность совместного появления события безотказной работы обоих членов команды мостика [7].

Пример 5. При контроле места судна один член команды мостика измеряет навигационные параметры, а другой наносит их на карту. Доверительная вероятность первого члена команды мостика – 0,82, а другого – 0,89. Определить доверительную вероятность команды мостика при выполнении этой операции. Используя формулу (6), получаем:

$$P(t) = 0,82 + 0,89 - 0,82 \times 0,89 = 0,98.$$

И в этом случае надежность режима совместных событий также очень высока даже при невысоких доверительных вероятностях отдельных членов команды мостика.

Используя свойства вероятностных режимов резервирования и совместных событий, например, при определении места судна и безопасного расхождения с судами обязанности команды мостика можно распределить так, чтобы повысить вероятность ее безотказной работы.

Пример 6. Доверительные вероятности – у капитана 0,95, у другого члена команды мостика – 0,85 и у третьего – 0,90. Капитан определяет параметры движения судов для безопасного расхождения с ними с помощью САПП. Два других члена команды мостика работают в совместном режиме, определяя место судна и параметры движения судов. Тогда вероятность безотказной работы второго и третьего членов команды мостика в вероятностном режиме совместных событий при определении места судна и параметров судов для безопасного расхождения находим по формуле (6). Она равна 0,985.

При определении параметров движения судов по отношению к капитану они работают в вероятностном режиме резервирования. Вероятность безотказной работы капитана и совместной работы двух членов команды мостика при определении параметров движения судов определяется по формуле (5) для вероятностного режима резервирования. Она равна 0,9992.

Вероятность безотказной работы команды мостика в целом в этом случае определяется по формуле для вероятностного режима независимых событий – работа капитана и совместная работа двух членов команды мостика [7]:



$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t). \quad (7)$$

Используя формулу (7), получаем, что вероятность безотказной работы команды мостика при одновременном использовании вероятностных режимов совместных событий и резервирования равна 0,984.

Этот пример показывает, что при обоснованном использовании вероятностных режимов командной работы можно повысить ее надежность даже при низких доверительных вероятностях у ее объектов.

Правила выполнения работ членами команды мостика. По существу выполняемых работ эти правила достаточно полно описаны в руководствах компании по системе менеджмента. Поэтому с позиций теории надежности требуется лишь формальное описание этих правил. Для этого по каждой операции необходимо формально установить число функций – действий, которые член экипажа должен выполнить за ходовую вахту или за время работы команды мостика и т.п. в соответствии с требованиями системы менеджмента. Многие функции команды мостика уже описаны формально в руководствах компании. Например, это сделано в многочисленных судовых чек-листах таких, как ознакомление с оборудованием мостика, подготовка к выходу в море, подготовка плана перехода, смена вахт, плавание в прибрежных водах и системах разделения движения и др.

Действия членов команды мостика. С позиций теории надежности действия членов команды мостика должны контролироваться таким образом, чтобы на всех этапах работы команды обеспечивалась заданная вероятность безотказной работы. Условно такой контроль можно разделить на три этапа: (1) контроль подготовительных операций, (2) определение необходимости контроля действий команды и (3) контроль в ходе выполнения командой мостика операций.

Для определения того, обеспечивается ли заданная надежность при выполнении подготовительных операций можно использовать формулу (1).

Пример 7. Предположим, что при подготовке плана перехода согласно требованиям судового чек-листа один член команды мостика должен выполнить количество действий $N(0) = 37$ при заданной доверительной вероятности 0,95. Капитан проверил выполнение этих требований перед подписанием чек-листа и обнаружил, например, что в $n(t) = 4$ случаях требования не были выполнены. По формуле (1) определяем, что в этом случае доверительная вероятность подготовки судна к выходу в море равна 0,89. Таким образом, надежность операции по подготовке плана перехода по показателю «безотказность» не обеспечена. Поэтому в зависимости от тяжести потенциальных последствий «отказов» необходимо принять меры, требуемые системами менеджмента по восстановлению объекта – коррекцию, корректирующие и предупредительные мероприятия таким образом, чтобы обеспечивалась заданная доверительная вероятность безотказной работы.

Чтобы контролировать работу членов команды мостика целенаправленно, необходимо предварительно определить, потребуется ли вмешательство капитана в их работу. Так как все члены команды мостика работают независимо друг от друга и могут потребовать внимания капитана одновременно, то их действия являются независимыми, но совместными. Чтобы определить необходимость контроля членов команды мостика в течение ее работы, можно использовать формулу для определения вероятности противоположных событий [8]:

$$\bar{P}(t) = \sum_{i=1}^n \bar{P}_i(t), \quad (8)$$



где $\bar{P}(t) = 1 - P(t)$ – вероятность того, что капитану потребуется вмешательство в работу команды мостика; $\bar{P}_i(t)$ – вероятность того, что капитану потребуется вмешательство в работу i – го члена команды мостика.

Пример 8. Считая работу всех членов команды мостика независимой, но «совместной» с точки зрения достижения поставленной цели, на основе доверительных вероятностей членов команды мостика рассчитать вероятность того, что хотя бы один член команды мостика потребует контроля со стороны капитана в течение работы команды. Доверительные вероятности первого члена команды мостика – 0,85 и второго – 0,90. Противоположные вероятности доверительных вероятностей – $\bar{P}_1(t) = 0,15$ и $\bar{P}_2(t) = 0,10$. По формуле (8) получаем: $\bar{P}(t) = 0,015$ и $P(t) = 0,985$. Таким образом, вероятность того, что при данных доверительных вероятностях членов команды мостика капитану не потребуется вмешательство в их работу, практически достоверна.

Процессы, которые находятся в стадии завершения или уже завершены можно контролировать по ходу их выполнения. С этой целью воспользуемся соотношением, описывающим центральную предельную теорему Муавра-Лапласа [8]:

$$P(A) \approx \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{m + 0,5 - np}{\sqrt{npq}} \right) - \Phi \left(\frac{-0,5 - np}{\sqrt{npq}} \right) \right], \quad (9)$$

где $\Phi(t)$ – доверительная вероятность, значение которой приведено в табличной форме в зависимости от аргумента (функция Лапласа); $P(A)$ – заданная доверительная вероятность появления события A ; n – число функций – действий, которые член экипажа должен выполнить за какое-то время в соответствии с законодательными и регламентирующими требованиям системы менеджмента, например, за ходовую вахту; m – число функций, которое за это же время член экипажа не выполнил, или выполнил с отклонениями от законодательных и регламентирующих требований системы менеджмента – число «отказов»; $p = 1 - P(A)$ – вероятность «отказов»; $q = 1 - p$.

Пример 9. Предположим, что члены команды мостика в течение времени своей работы должны выполнить $n = 45$ действий при заданной доверительной вероятности $P(A) = 0,95$. Используя теорему Муавра-Лапласа, определить, при каком количестве нарушений – «отказов» m надежность навигационной безопасности может быть поставлена под угрозу. В этом примере $p = 0,05$; $q = 0,95$. Тогда:

$$\Phi \left(\frac{m - 1,75}{1,462} \right) \approx 1,9 - \Phi(1,881).$$

По таблице для нормированной функции Лапласа [5] по аргументу функции $\Phi(1,881)$ получаем доверительную вероятность 0,94. После подстановки имеем:

$$\Phi \left(\frac{m - 1,75}{1,462} \right) \approx 0,96.$$

По той же таблице находим аргумент этой функции для доверительной вероятности 0,96:

$$\frac{m - 1,75}{1,462} \approx 1,25.$$

В результате получаем $m \approx 4$. Таким образом, если в течение этой ходовой вахты будут допущены четыре нарушения – «отказа», то с учетом тяжести потенциального последствия этих «отказов» необходимо предпринять соответствующие меры, требуемые



системами менеджмента – коррекцию, корректирующие и предупредительные мероприятия, чтобы в дальнейшем обеспечить навигационную надежность мореплавания с доверительной вероятностью 0,95.

Документация по системе менеджмента командой мостика. Как уже говорилось, первым документом, в котором должно найти отражение стремление компании повысить надежность системы менеджмента командой мостика, является ее заявление о политике в области системы менеджмента.

Известно, что одним из обязательных требований систем менеджмента является ведение на судне документального учета аварий, аварийных случаев и опасных происшествий. В настоящее время это отражается в судовой документации по статистике «отказов». Чтобы использовать эту статистику для целей контроля надежности работы команды мостика, ее следует упорядочить с позиций требований теории надежности. Для этого необходимо из зарегистрированных судовой статистикой «отказов» выделить «отказы», связанные с объектами системы менеджмента командой мостика, и организовать учет времени работы объектов до «отказа». Это позволит получить оценки: (1) вероятности безотказной работы объекта системы менеджмента командой мостика $P(t)$, (2) математического ожидания T и (3) дисперсии σ^2 времени работы члена команды мостика до «отказа».

Для обеспечения контроля над «человеческим фактором» оценка вероятности безотказной работы члена команды мостика может служить одним из показателей его характеристики, которая составляется по окончании срока его работы на судне.

Выводы и перспектива работы по данному направлению. Из изложенного следует, что внедрение на судах морского флота систем менеджмента позволяет оценивать и контролировать «человеческий фактор» с помощью аппарата теории надежности. Однако, для внедрения в практику методов оценки надежности менеджмента командой мостика необходимо дальнейшее научное обоснование и разработка:

1. Методов определения функций в системе менеджмента командой мостика, которые являются существенными для повышения их надежности.
2. Методов определения количества действий в составе существенных функций, которые члены команды мостика должны выполнить в соответствии с требованиями системы менеджмента.
3. Классификации вероятностных режимов работы команды мостика при выполнении ею существенных функций.
4. Алгоритма и судовой компьютерной программы для регистрации статистики по оценке надежности, контролю над «человеческим фактором», включая каждого члена экипажа, и расчету показателей надежности системы менеджмента командой мостика.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобыр В. А. Повышение надежности определения места судна / В. А. Бобыр // Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА. – Вып. 21. – Одесса : «ИздатИнформ», ОНМА, 2012. – С. 3-11.
2. Козлов В. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики / В. А. Козлов, И. А. Ушаков – М. : Советское радио, 1975. – 472 с.
3. Фролов М. В. Контроль функционального состояния человека-оператора / М. В. Фролов. – М. : Наука, 1987. – 196 с.
4. Макаров Р. Н. Основы формирования профессиональной надежности летного состава гражданской авиации : учебное пособие / Р. Н. Макаров – М. : Воздушный транспорт, 1990. – 135 с.
5. Кондрашихин В. Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения / В. Т. Кондрашихин. – М. : Транспорт, 1969. – 256 с.



6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учебник для высших технических учебных заведений / Е. С. Вентцель. – М. : Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 564 с.
7. Гурский Е. И. Теория вероятностей с элементами математической статистики : учебное пособие для втузов / Е. И. Гурский. – М. : Высшая школа, 1971. – 328 с.
8. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М. : Высшая школа, 1972. – 368 с.

Бобир В.О., Катеруша В.І. НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМИ МЕНЕДЖМЕНТА КОМАНДОЮ МІСТКА

У статті обґрунтована можливість використання апарату теорії надійності функціонування складних технічних систем в системі менеджменту командою містка на морському флоті з метою підвищення безпеки мореплавства. Наведені практичні приклади оцінювання надійності контролю над «людським фактором» у системі менеджменту командою містка, а також практичні рекомендації відносно використання таких оцінок для підвищення надійності системи менеджменту командою містка на судах. Визначені перспективи подальшої роботи в цьому напрямку.

Ключові слова: системи менеджменту, команда містка, людський фактор, надійність, довірна вірогідність, безвідмовна робота, суттєві функції та вірогіднісні режими роботи.

Bobyr V.A., Katerusha V.I. BRIDGE TEAM MANAGEMENT SYSTEM RELIABILITY

A possibility to apply the complex technical system functioning reliability theory in bridge team management in order to improve navigational safety is grounded in the article. Practical examples of reliability control over human factor estimations are outlined and applicable recommendations how to use these estimations are given. An outlook for further investigations in this direction has been set up.

Keywords: management system, bridge team, human factor, reliability, confidence probability, failure-free operation, essential functions and probabilistic operating regime.



ПРОВЕРКА ОСТОЙЧИВОСТИ СКОРОСТНЫХ АВТОПАССАЖИРСКИХ КАТАМАРАНОВ НА ЭТАПЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Буй Д.Т., Бондаренко А.В.

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев

Проведен анализ методов расчета плеч статической остойчивости скоростных автопассажирских катамаранов на этапе концептуального проектирования. Дано описание алгоритма расчета и выполнена оценка погрешности вычислений.

Ключевые слова: автопассажирский катамаран, плечи статической остойчивости, концептуальное проектирование, погрешность, задача синтеза.

Постановка проблемы. Остойчивость судна является одним из важнейших мореходных качеств, требования к которой регламентируются Правилами классификационного общества. Поскольку остойчивость связана с геометрическими характеристиками судна, то уже на начальных этапах проектирования возникает задача проверки выполнения этих требований. Для этого, как правило, необходимо построить диаграмму статической остойчивости (ДСО).

Анализ последних исследований показал, что в настоящее время наиболее разработаны приближенные методики [1 – 4], применяемые для расчета плеч ДСО однокорпусных судов. Для катамаранов построение ДСО является более трудной задачей из-за сложности их формы корпуса и неприменимости методик, используемых для однокорпусных судов. Из известных авторам научных публикаций по расчету ДСО катамаранов на начальных этапах проектирования следует отметить [5 – 6], но данные по погрешности отсутствуют. Поэтому, выбор наиболее точного метода определения плеч статической остойчивости на концептуальном этапе проектирования катамаранов является актуальной задачей.

Цель работы – анализ и выбор метода, позволяющего выполнять расчет остойчивости скоростных автопассажирских катамаранов (АПК) в задаче синтеза с наименьшей погрешностью.

Изложение основного материала исследования. Из теории корабля известно, что общая формула для расчета плеч статической остойчивости имеет следующий вид [4]:

$$l = y_c \cos \theta + (z_c - z_{c0}) \sin \theta - (z_g - z_{c0}) \sin \theta ,$$

где θ – угол крена; y_c – отстояние центра величины (ЦВ) от диаметральной плоскости (ДП); z_c – аппликата центра величины; z_c, z_{c0} – аппликата центра величины при текущем угле крена и 0° соответственно; z_g – аппликата центра тяжести (ЦТ).

Для определения плеч ДСО катамаранов рассмотрим приближенный метод, который можно применить на начальных этапах проектирования [5]. Согласно этому методу, плечо остойчивости формы катамарана:

$$l_v = y_c \cos \theta + (z_c - z_{c0}) \sin \theta .$$

При этом y_c и $z_c - z_{c0}$ определяются как функции от угла крена θ :

$$y_c = \frac{a\theta}{1 + c\theta^{4/3}} ;$$

$$z_c - z_{c0} = b\theta^2 ,$$



где a, b, c – коэффициенты, которые определяются исходя из того, что кривые $y_c = f(\theta)$ и $z_c - z_{c0} = f(\theta)$ должны удовлетворять условиям, представленным в табл. 1.

Таблица 1 – Условия для определения коэффициентов a, b, c

θ	y_c	$dy_c/d\theta$	$z_c - z_{c0}$
0	0	r_0	0
$\pi/2$	y_{c90}	0	$z_{c90} - z_{c0}$

В результате найдено

$$a = r_0; b = \frac{z_{c90} - z_{c0}}{(\pi/2)^2}; c = \frac{r_0 \pi/2 - y_{c90}}{y_{c90} (\pi/4)^{4/3}}.$$

Подставляя коэффициенты a, b, c в выражение для расчета плеч остойчивости формы катамаранов, после ряда элементарных преобразований получаем приближенную формулу:

$$l_v = \frac{r_0 \theta}{A \theta^{4/3} + 1} \cos \theta + B \theta^2 \sin \theta,$$

где A, B – постоянные коэффициенты:

$$A = \frac{1}{2,46} \left(1,57 \frac{r_0}{y_{c90}} - 1 \right);$$

$$B = \frac{z_{c90} - z_{c0}}{2,46}.$$

Тогда плечи статической остойчивости катамарана рассчитываются по общеизвестной формуле:

$$l = l_v - (z_g - z_{c0}) \sin \theta.$$

Таким образом, для расчета плеч остойчивости формы катамарана по приближенной формуле необходимо знать значения $r_0, z_{c0}, y_{c90}, z_{c90}$, которые могут быть определены по теоретическому чертежу или по приближенным зависимостям.

При использовании приближенных формул, поперечный метацентрический радиус катамарана можно рассчитать по следующим выражениям [5]:

$$r_0 = \frac{c_{II} C_W}{TC_B} \left(1 + \frac{C_W^2}{2(c_{II} / B_1)^2 (1 + C_W)(1 + 2C_W)} \right)$$

или

$$r_0 = \frac{c_{II}^2 C_W}{d C_B}$$

или

$$r_0 = \frac{(c + B_1)^2 C_W}{4d C_B},$$



где $2c_{\Pi}$ – расстояние между диаметрными плоскостями корпусов катамарана; c – расстояние между бортами корпусов в районе мидель-шпангоута в плоскости грузовой ватерлинии (ГВЛ); B_1 – ширина одного корпуса катамарана; d – осадка; C_W – коэффициент полноты площади ГВЛ корпуса; C_B – коэффициент полноты водоизмещения корпуса.

Для определения ординаты центра величины z_{C0} катамарана может использоваться формула Л. Эйлера:

$$z_{C0} = \frac{1}{1 + \frac{C_B}{C_W}} d.$$

Аппликата центра величины z_{C90} при угле крена 90° определяется по приближенной формуле:

$$z_{C90} = \frac{DC_W}{2C_B},$$

где D – высота борта в плоскости мидель-шпангоута.

Ордината центра величины катамарана y_{C90} при угле крена 90° приближено может быть найдена по выражению:

$$y_{C90} = \frac{1}{2} \left[B_0 - \left(\frac{B_0}{2} - c_{\Pi} - \eta \right) C_B \right].$$

Здесь

$$\eta = \frac{1}{4D} [(D-d)(B_0 - 2c_{\Pi} + B_1)C_W - 6C_B B_1 d],$$

где B_0 – наибольшая ширина катамарана.

Авторами были выполнены расчеты по описанному выше приближенному методу, которые показали значительную погрешность расчетов (см. табл. 3).

Для более точного решения задачи оценки остойчивости катамарана в [7] предлагается метод, который основывается на теоретической базе и решается с помощью ЭВМ (для различия от приближенного метода назовем его теоретическим).

В соответствии с новым подходом, плечо статической остойчивости определяют через координаты центра величины судна. Расчет координат центра величины для каждого угла крена выполняется по следующему алгоритму:

1. Деление длины судна на множество элементарных отрезков. Судно считается суммой множества элементарных призм, у которых длины равны элементарным отрезкам.
2. Определение подводного объема и координаты центра величины каждой элементарной призмы относительно основной (ОП) и диаметральной плоскостей судна.
3. Расчет объемного водоизмещения и координат центра величины судна под наклонной ватерлинией.

Для определения координат центра величины катамарана, сначала рассмотрим такую же задачу для однокорпусного судна.

На каждом шпангоуте проводятся прямые линии, которые пересекают шпангоут и образуют угол крена θ относительно ОП. На каждой осадке по оси θz проводятся прямые линии, параллельные ОП (рис. 1). Определяются вспомогательные значения a , b , c по следующим формулам:



$$a = \frac{z}{\operatorname{tg}\theta} - t;$$

$$b = a + 0,5c;$$

$$c = y - a,$$

где y – половина ширины судна, измеряемая на текущей осадке на текущем шпангоуте;
 t – расстояние от точки пересечения наклонной ватерлинии и ОП до ДП судна.

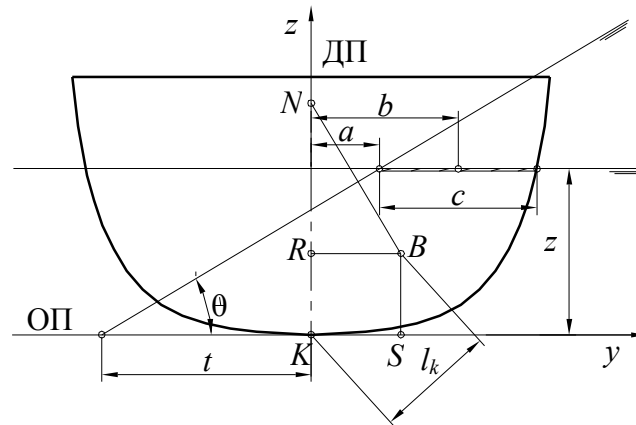


Рисунок 1 – Описание способа определения ЦВ однокорпусного судна: N – ЦТ судна;
 B – ЦВ судна

Площадь шпангоута под наклонной ватерлинией:

$$A(x) = \int_0^d c(z) dz.$$

Статический момент подводной площади шпангоута относительно ОП судна:

$$M_B(x) = \int_0^d c(z) z dz.$$

Статический момент подводной площади шпангоута относительно ДП судна:

$$M_C(x) = \int_0^d c(z) b(z) dz.$$

Объемное водоизмещение под наклонной ватерлинией:

$$V = \int_L A(x) dx.$$

Координаты центра величины под наклонной ватерлинией:

$$\overline{SB} = \frac{\int_L M_B(x) dx}{\int_L A(x) dx};$$



$$\overline{RB} = \frac{\int_L M_c(x) dx}{\int_L A(x) dx}.$$

Плечо остойчивости формы:

$$l_k = KN \sin \theta = \overline{SB} \sin \theta + \overline{RB} \cos \theta.$$

Тогда плечо статической остойчивости определяется по формуле:

$$l = l_k - z_g \sin \theta.$$

В этом алгоритме любое значение c должно быть неотрицательным. Если $c \geq 2y$, то $c = 2y$ и $b = 0$. Если $c \leq 0$, то $c = 0$ и $b = y$ (рис. 2).

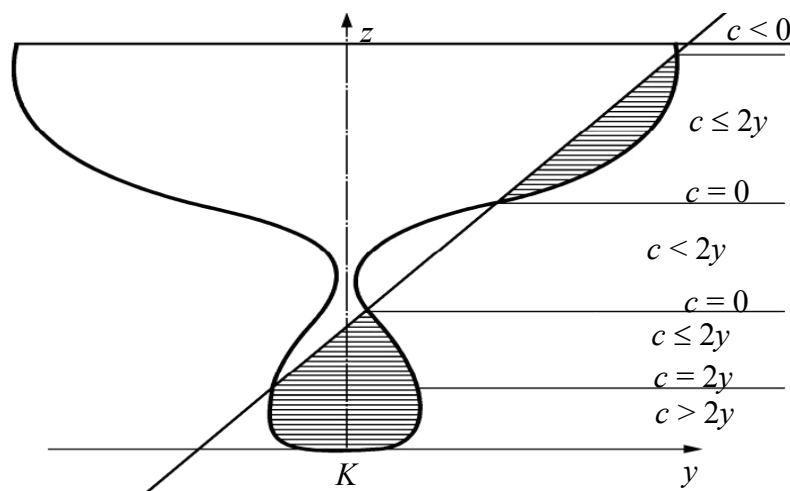


Рисунок 2 – Различные случаи при определении вспомогательного значения c

При определении координат центра величины катамарана под наклонной ватерлинией, возможны два случая. Первый – когда наклонная ватерлиния одновременно пересекает два корпуса катамарана (рис. 3).

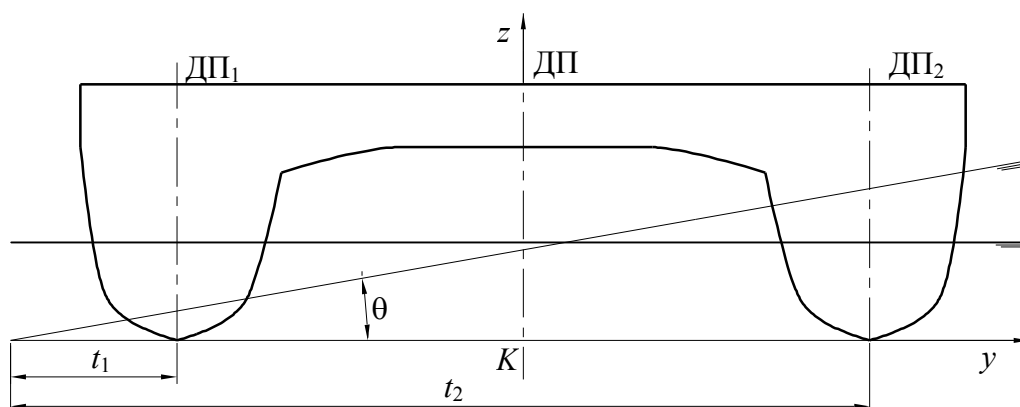


Рисунок 3 – Описание способа определения ЦВ катамарана

В этом случае,

$$t_1 = t_2 - 2c_{II},$$

где $2c_{II}$ – расстояние между ДП корпусов катамарана.



Координаты центра величины катамарана определяется через координаты центров величины двух корпусов:

$$\overline{SB} = \frac{\overline{SB}_1 V_1 + \overline{SB}_2 V_2}{V_1 + V_2};$$

$$\overline{RB} = \frac{(\overline{RB}_1 - c_{II}) V_1 + (\overline{RB}_2 + c_{II}) V_2}{V_1 + V_2},$$

где V_1, V_2 – соответственно объемное водоизмещение первого и второго корпуса катамарана под наклонной ватерлинией; $\overline{SB}_1, \overline{RB}_1$ – координаты центра величины первого корпуса катамарана; $\overline{SB}_2, \overline{RB}_2$ – координаты центра величины второго корпуса катамарана.

Для второго случая, когда ватерлиния пересекает только один корпус катамарана (рис. 4), расчет проводится по схеме однокорпусного судна.

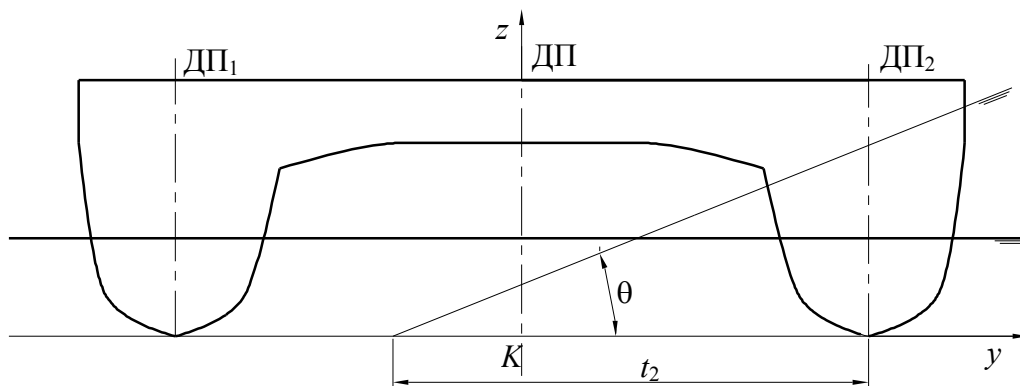


Рисунок 4 – Описание способа определения ЦВ катамарана

Данный алгоритм был реализован в среде программирования «Delphi» и затем использовался для оценки точности расчетов.

Для сравнительного анализа результатов и оценки погрешности расчетов были созданы в САД системе несколько моделей корпусов катамаранов, характеристики которых представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Основные характеристики корпусов катамаранов

Наименование	Обозн.	cat 1	cat 2	cat 3	cat 4	cat 5	cat 6
Длина по ватерлинии, м	L_{wl}	79,50	92,12	69,90	87,10	78,10	41,40
Ширина наибольшая, м	B_0	22,53	45,00	17,43	26,61	17,77	11,20
Ширина одного корпуса, м	B_1	4,80	5,00	4,23	5,30	3,87	2,40
Осадка, м	d	2,50	5,00	2,50	4,20	2,60	1,40
Высота борта, м	D	6,80	15,00	6,90	9,40	6,30	3,50
Коэффициент общей полноты	C_B	0,507	0,638	0,583	0,608	0,511	0,570

Для каждого из корпусов были выполнены расчеты по теоретическому и приближенному методу. Результаты сравнения двух методов с данными, полученными с помощью системы «Hydromax Pro», которые принимаются за эталонные значения, представлены в табл. 3 и на рис. 5.



Таблиця 3 – Значения плеч статической остойчивости катамарана cat 2

Угол крена, град.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Hydromax	0,00	15,45	17,09	14,87	12,22	9,22	6,03	2,92	0,18	-2,12
Теоретический метод	0,00	15,39	17,08	14,91	12,24	9,14	6,12	2,89	0,66	-1,78
Приближенный метод	0,00	12,30	17,69	18,66	17,14	14,28	10,77	7,03	3,32	-0,18
Погрешность теоретического метода, %	–	0,39	0,04	0,25	0,20	0,92	1,54	1,06	259,89	16,04
Погрешность приближенного метода, %	–	20,40	3,53	25,46	40,28	54,81	78,53	140,46	1726,63	91,30

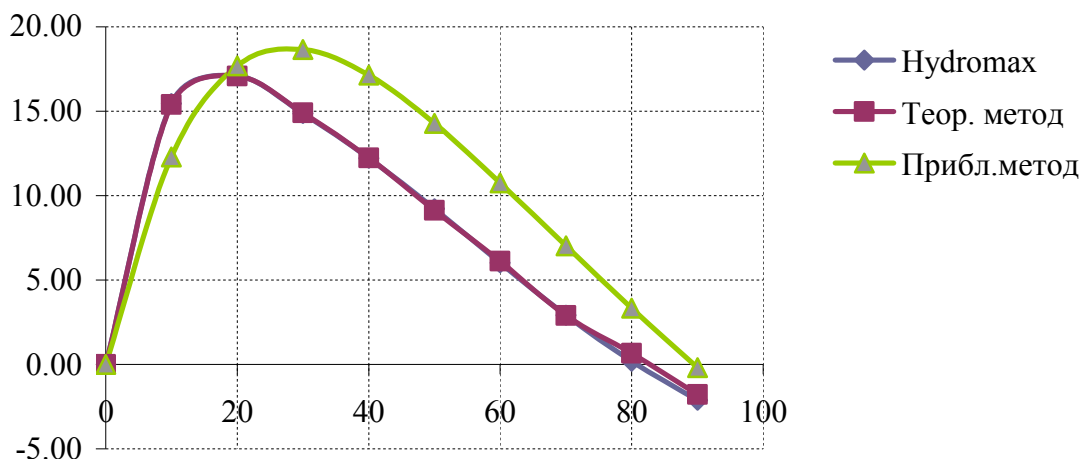


Рисунок 5 – Диаграмма сравнительного анализа плеч статической остойчивости

Диаграмма показывает, что теоретический метод дает очень близкий результат с эталонными значениями Hydromax (на рис. 5 до угла крена 80° точки практически совпадают). При этом погрешность расчетов не превышает 2%. Большие значения погрешности в диапазоне углов крена 80°...90° объясняются близостью плеча статической остойчивости к нулю и, как следствие, потерей точности. Аналогичные результаты получены и для других корпусов катамаранов. Единственным недостатком этого метода является необходимость наличия точечной модели корпуса катамарана. Данная проблема решена авторами благодаря применению параметрической модели.

Полученные значения плеч ДСО аппроксимируются сплайном и проводятся расчеты по проверке требований к остойчивости. Для скоростных автопассажирских катамаранов должны выполняться следующие значения критериев остойчивости [8]:

1. Площадь A_1 ДСО до угла θ должна быть не менее

$$A_1 = 0,055 \times 30 / \theta, \text{ м рад,}$$

где угол θ – меньший из следующих углов: угла заливания, угла максимума ДСО и 30°;

2. Угол крена, соответствующий максимальному значению ДСО, должен быть не менее 10°;

3. Отклонение судна от горизонтальной плоскости не должно превышать 10° в любом направлении при всех допустимых случаях размещения грузов и возможных неконтролируемых перемещениях пассажиров;

4. Остаточная площадь A_2 , ограниченная ДСО, т.е. за углом крена θ_h должна составлять, по меньшей мере, 0,028 м рад до угла крена при бортовой качке θ_r ,



где θ_h – угол крена от действия кренящего момента с плечом HL_2 или HTL ;

5. Угол крена, возникающий вследствие действия ветрового кренящего момента (плечо HL_2), не должен превышать 10° .

Полученные характеристики входят в систему ограничений и используются при решении задачи синтеза, т.е. выбора оптимальных характеристик высокоскоростных судов.

Вывод. В статье рассмотрены два метода определения плеч статической остойчивости катамаранов на этапе концептуального проектирования. Выполненные расчеты и сравнительный анализ выходных значений с эталонными результатами позволил авторам рекомендовать наиболее подходящий метод [7] для использования в задаче оптимизации главных элементов скоростных автопассажирских катамаранов. Перспективы дальнейшего исследования авторы видят в усовершенствовании предложенного теоретического метода для расчета остойчивости других типов многокорпусных судов: тримаранов, судов с малой площадью ватерлинии и т.д.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богуславский А. Н. Анализ способов расчёта диаграмм остойчивости на ранних стадиях проектирования / А. Н. Богуславский // Труды ЛИВТ. – Л. : Речной транспорт, 1962. – Вып. 40. – С. 57-70.
2. Власов В. Г. Приближённая формула для вычисления плеч остойчивости формы / В. Г. Власов / В книге Власов В. Г. Собрание трудов. – Л. : Судпромгиз, 1959. – Том I. – С. 153-171.
3. Поздюнин В. Л. Приближённые формулы для расчёта остойчивости на больших углах крена / В. Л. Поздюнин – Л. : ЛКИ, 1937. – 42 с.
4. Семёнов-Тян-Шанский В. В. Статика и динамика корабля : учебник / В. В. Семёнов-Тян-Шанский – Л. : Судостроение, 1973. – 608 с.
5. Милова И. И. Приближенное вычисление плеч статической остойчивости катамаранных судов / И. И. Милова // Труды ГИИВТа. – 1975. – Вып. 144. – С. 49-62.
6. Соломенцев О. И. Приближённые формулы для расчёта остойчивости двухкорпусных судов на больших углах крена / О. И. Соломенцев // Статья депонирована в ЦНИИ «Румб», № ДР-1363, 1981. – 36 с.
7. Чан К. Н. Автоматизированные расчеты в проектировании судов / К. Н. Чан. – Хошимин : Транспортный университет, 2009. – 172 с.
8. Правила классификации и постройки высокоскоростных судов. – СПб. : Российский морской регистр судоходства, 2008. – 182 с.

Буй Д.Т., Бондаренко А.В. ПЕРЕВІРКА ОСТІЙНОСТІ ШВИДКІСНИХ АВТОПАСАЖИРСЬКИХ КАТАМАРАНІВ НА ЕТАПІ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Проведено аналіз методів розрахунку плечей статичної остійності швидкісних автопасажи́рських катамаранів на етапі концептуального проектування. Дано опис алгоритму розрахунку і виконано оцінку похибки обчислень.

Ключові слова: автопасажи́рський катамаран, плечі статичної остійності, концептуальне проектування, похибка, задача синтезу.

Bui D.T., Bondarenko A.V. VERIFICATION OF STABILITY OF HIGH SPEED CAR/PASSENGER CATAMARANS AT THE STAGE OF CONCEPTUAL DESIGN

The analysis of methods of righting levers' calculation of the GZ curve of high-speed car/passenger catamarans is conducted at the stage of conceptual design. The description of the calculation algorithm is given and the estimation of the calculations error is executed.

Keywords: car/passenger catamaran, righting lever (GZ), conceptual design, error, task of synthesis.



АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЮСА ПОВОРОТА МОРСКОГО СУДНА

Голиков В.В., Мальцев С.Э.

Одесская национальная морская академия

Предложенное устройство определения положения полюса поворота позволяет говорить о создании предпосылок для гарантированной навигационной безопасности, за счет детерминизации алгоритмов операторской деятельности, согласованности психофизиологических характеристик оператора и факторов движения и качественного планирования траектории перемещения судна при проводке судов. Реализация и внедрение в практику штурманской работы устройства позволит говорить о появлении средства поддержки принятия решения, а его функциональные возможности находятся на современном уровне состояния мировой судоводительской науки. Создаваемое устройство может быть выполнено на базе малогабаритного персонального компьютера.

Рассмотренные идеи и принципы построения устройства могут быть внедрены на судах для выработки рекомендаций по маневрированию в стесненных условиях. Предложенное устройство может быть использовано при тренажерной подготовке в процессе обучения капитанов, лоцманов и на старших курсах морских учебных заведений Украины.

Ключевые слова: полюс поворота, гарантированная безопасность, поддержка принятия решения, стесненные условия, тренажерная подготовка.

Постановка проблемы в общем виде. На плоскости судно совершает два вида движения: поступательное, при котором все точки тела перемещаются по параллельным траекториям и имеют одинаковую скорость; вращательное, когда точки плоского тела имеют разную скорость. Существует и такая точка, скорость которой равна нулю. Применительно к участвующему в криволинейном движении судну такую точку называют полюсом поворота (ПП). Если быть более точными, то вращение судна происходит вокруг ПП с точки зрения наблюдателя, находящегося на судне, что чрезвычайно важно при маневрировании в стесненных условиях по двум причинам.

Первая – заключается в том, что при обзорно-сравнительном способе управления судном оператору кажется, что вращение происходит вокруг него, в то время как оно происходит вокруг ПП. Это приводит к неверной оценке расстояний до ориентиров, потере ориентировки и создает предпосылки для возникновения аварийной ситуации.

Вторая – заключается в том, что при использовании мощности буксиров точка приложения силы относительно ПП позволяет меньшей мощностью получить максимальный момент от силы упора буксира, путем выбора точки приложения – чем дальше от ПП, тем момент больше.

В большинстве случаев при таком маневрировании судна прибегают к глазомерной оценке ситуации и формирует управляющие воздействия интуитивно по мере накопления опыта и морской практики.

Применяя такой подход, судоводитель сможет руководить процессом движения более точно и безаварийно. В силу указанных причин рассматриваемая проблема является весьма актуальной.

Анализ последних достижений и публикаций. Выполненный анализ аварийности в районе БДЛК и ХМК за последние 25 лет, результаты которого приведены в работах [1, 2] показал, что лоцманская проводка является эффективным средством повышения безопасности плавания, однако аварийные происшествия происходят и при наличии лоцмана на борту. Причиной указанных случаев является отсутствие согласованности факторов движения и психофизиологических характеристик человека – оператора (ЧО).

В работе [3] приведены результаты решения дифференциальных уравнений по определению силы и момента, действующих на корпус судна, в результате получены зависимости для определения точки приложения боковой силы и положения ПП.



Между точкой приложения боковой силы X_p (относительное плечо поперечной силы от ЦТ $\bar{X}_p = X_p / L$) и положением ПП на линии ДП X_n (относительное положение ПП от ЦТ $\bar{X}_n = X_n / L$) существует зависимость:

– при расположении полюса поворота за пределами корпуса, $\bar{X}_p > 0,5$

$$\bar{X}_n = (-X_p / 6) / (\bar{X}_p^2 + 1/12). \quad (1)$$

– при расположении полюса поворота в пределах корпуса, $\bar{X}_p < 0,5$

$$\bar{X}_n = (\bar{X}_p^4 / 6 - \bar{X}_p^2 / 4 - 1/32) / (2 \cdot \bar{X}_p^3 / 3 + \bar{X}_p / 2). \quad (2)$$

По формулам (1) и (2) построен график, приведенный на рис. 1.

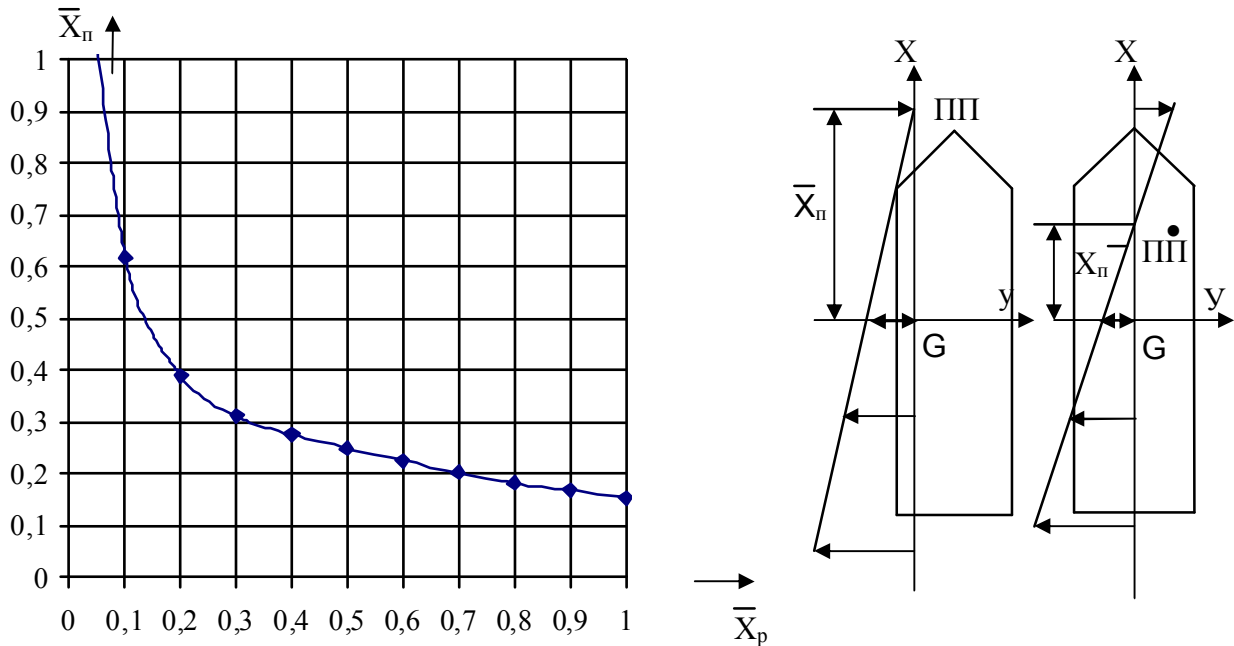


Рисунок 1 – Зависимость положения полюса поворота от точки приложения поперечной силы

Кроме того необходимо отметить, что только вращение судна, без поперечного и продольного перемещения, возможно только в том случае, когда ПП совпадает с ЦТ. В противном случае при вращении возникает центробежная сила, приложенная к ЦТ, вследствие чего судно приобретает перемещение в продольном и поперечном направлениях.

В работах [4–6] содержатся теоретические основы для разработки методов и способов, а также технических средств, необходимых для обеспечения безопасного управления маневрированием судна.

Однако они не обеспечивают функции поддержки принятия решения, а служат для информационного обеспечения. Существующие модели не позволяют определить положение ПП когда на судно действует несколько сил.

Постановка задачи. Целью данного исследования является задача разработки алгоритмов и устройств определения положения ПП для информационного обеспечения маневрирования и технических средств поддержки принятия решений в процессе управления движением судов.

Изложение материала исследования. Для достижения поставленной цели был разработан следующий алгоритм решения задачи определения положения полюса поворота (рис. 2).

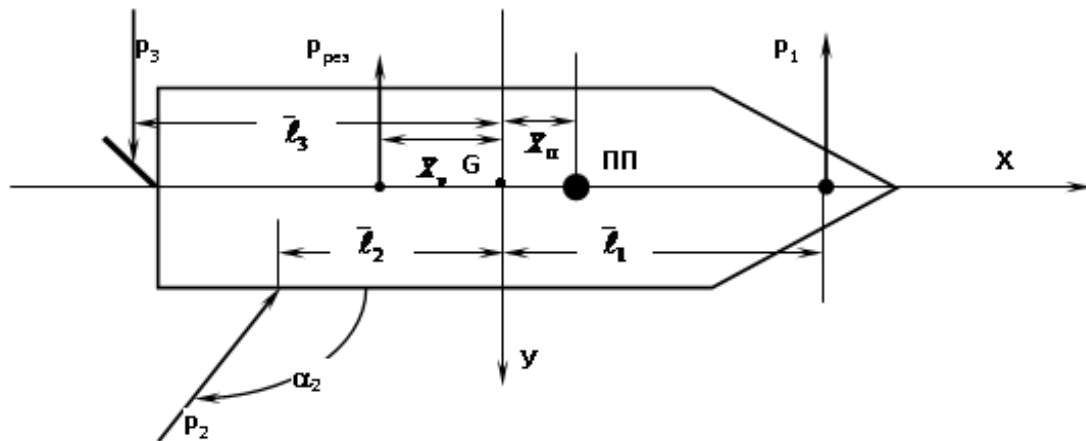


Рисунок 2 – Графическое изображение расположения внешних и внутренних сил относительно центра тяжести

1. Составить перечень всех сил, действующих на судно.
2. Определить равнодействующую поперечную составляющую всех внутренних и внешних сил, действующих на корпус судна.
3. Определить ее плечо.
4. По значению плеча рассчитать положение полюса поворота.
5. При необходимости скорректировать расстановку сил и произвести пересчет положения ПП.
6. Вывести значение координат ПП на экран дисплея и на контур судна.

На судно при маневрировании действуют два вида сил: внутренние, развиваемые средствами управления – винтом, рулем, носовым и кормовым подруливающими устройствами; внешние, от буксиров, якоря, швартовых концов, ветра, течения и другие.

Равнодействующую поперечных сил определим в следующей последовательности. Выполним расчет суммы всех поперечных сил по следующим зависимостям

$$\sum_{i=1}^n P_{рез} = P_1 \cdot \sin \alpha_1 + P_2 \cdot \sin \alpha_2 + \dots + P_i \cdot \sin \alpha_i + \dots + P_n \cdot \sin \alpha_n, \quad (3)$$

где $P_{рез}$ – равнодействующая поперечных сил; $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$ – силы, приложенные от буксиров, поперечная сила винта, сила от руля та подруливающего устройства с соответствующим знаком, + в сторону правого борта, – в сторону левого; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_n$ – угол между диаметральной плоскостью и направлением действия силы.

Сумму моментов относительно центра тяжести G определим по зависимостям

$$\sum_{i=1}^n M = P_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot \bar{l}_1 + P_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot \bar{l}_2 + \dots + P_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \bar{l}_i + \dots + P_n \cdot \sin \alpha_n \cdot \bar{l}_n, \quad (4)$$

где $\bar{l}_1, \bar{l}_2, \dots, \bar{l}_i, \dots, \bar{l}_n$ – безразмерное плечо каждой силы, $\bar{l} = l / L_{\perp\perp}$; $L_{\perp\perp}$ – длина судна между перпендикулярами.

Точку приложения равнодействующей поперечной силы определим по следующей зависимости

$$\bar{X}_P = \sum_{i=1}^n M / P_{рез}. \quad (5)$$

На основе зависимостей (1) и (2) строим функцию вида $\bar{X}_П = f(\bar{X}_P)$. Так как для построения этой функции мы сталкиваемся с задачей нахождения корней полинома 4-го



порядка, то наиболее целесообразно табулировать зависимости (1) и (2) и аппроксимировать их полиномом 3-го порядка. В результате имеем функцию с достоверностью $R^2 = 0,999$:

$$\bar{X}_\Pi = \begin{cases} 18,11\bar{X}_P^3 + 27,44\bar{X}_P^2 + 14,05\bar{X}_P + 2,576; & \text{для } -0,5 \leq \bar{X}_P \leq -0,15. \\ 18,11\bar{X}_P^3 - 27,44\bar{X}_P^2 + 14,05\bar{X}_P - 2,576; & \text{для } 0,15 \leq \bar{X}_P \leq 0,5. \end{cases} \quad (6)$$

График этой функции приведен на рис. 3.

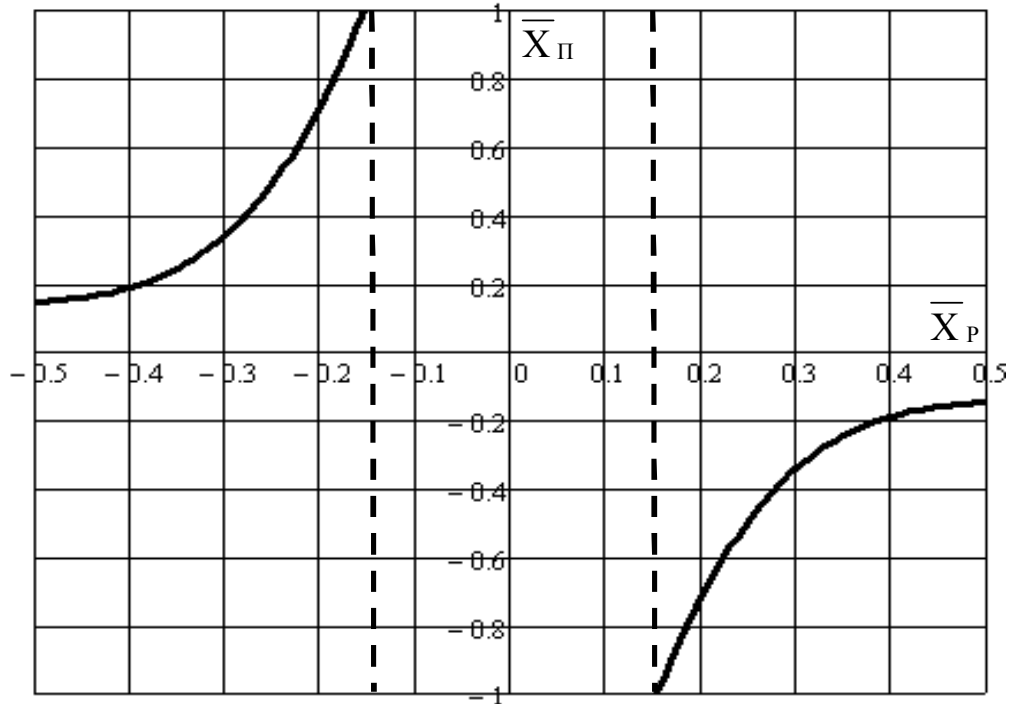


Рисунок 3 – Зависимость положения ПП от точки приложения $P_{рез}$ поперечной силы

Как видим, здесь мы имеем зону \bar{X}_P от -0,15 до 0,15, где $\bar{X}_\Pi > 1$ в расчете мы ее исключаем, в случае попадания в эту зону на экране должно появиться соответствующее сообщение.

Полученная зависимость (6) легко поддается операциям дифференцирования и интегрирования. В случае необходимости этот участок описывается с достоверностью $R^2 = 0,999$ по зависимостям:

$$\bar{X}_\Pi = \begin{cases} 18,11\bar{X}_P^3 + 27,44\bar{X}_P^2 + 14,05\bar{X}_P + 2,576; & \text{для } -0,5 \leq \bar{X}_P \leq -0,15. \\ -0,149/(\bar{X}_P + 0,005); & \text{для } -0,15 \leq \bar{X}_P \leq 0. \\ -0,149/(\bar{X}_P - 0,005); & \text{для } 0 \leq \bar{X}_P < 0,15. \\ 18,11\bar{X}_P^3 - 27,44\bar{X}_P^2 + 14,05\bar{X}_P - 2,576; & \text{для } 0,15 \leq \bar{X}_P \leq 0,5. \end{cases} \quad (7)$$

Тогда рис. 3 трансформируется к виду, приведенному на рис.4.

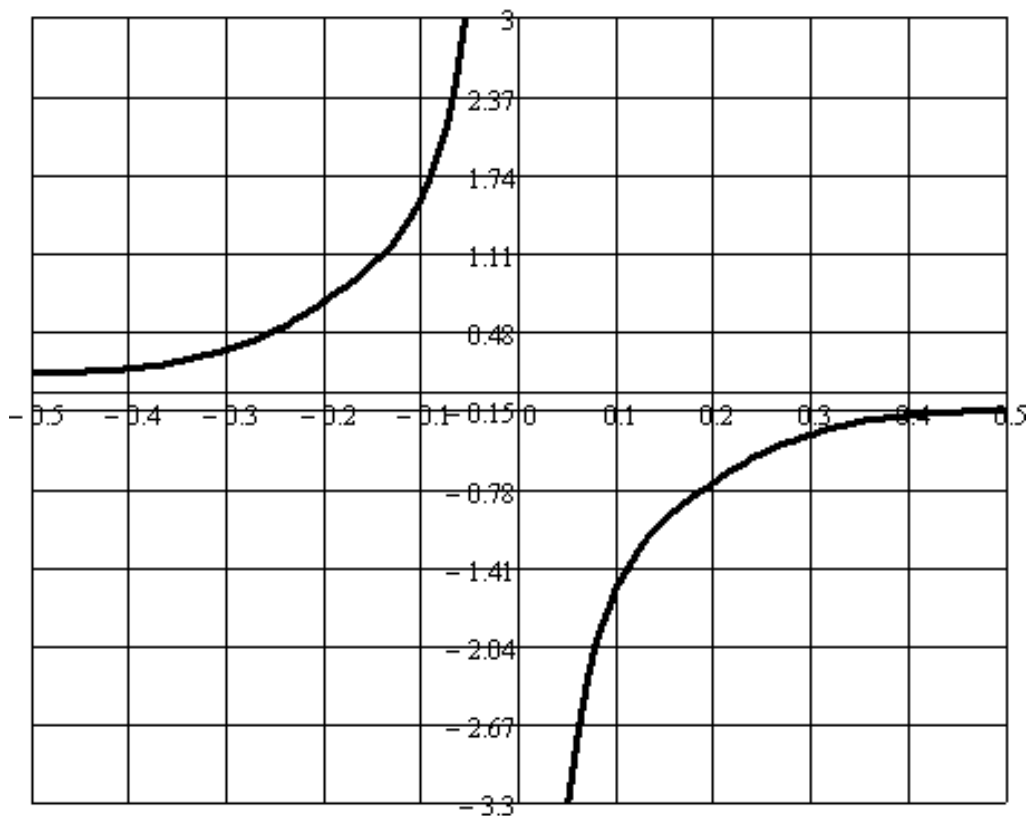


Рисунок 4 – Зависимость положения ПП от точки приложения $P_{рез}$ поперечной силы вблизи центра тяжести

Блок-схема алгоритма расчета и индикации положения ПП приведена на рис. 5.

Процесс вращения судна сложен из-за многообразия действующих на его корпус сил и сложного закона их изменения, так как поперечная составляющая равнодействующей гидродинамических сил на корпусе, оказывающая значительное влияние на вращение судна, зависит от угла натекания потока на корпус судна, иначе говоря, угла дрейфа, который в свою очередь изменяется под действием возникающих при криволинейном движении судна гидродинамических сил, то движение судна при повороте является неустановившимся. Такой вид движения имеет место при переключке руля на определенный угол на движущемся судне в процессе маневренного и эволюционного периода циркуляции. Когда же угол дрейфа перестает расти и наступает равновесие действующих на судно сил и моментов, элементы движения судна приобретают установившийся характер, и наступает период установившейся циркуляции. Для прогнозирования положения судна при движении с переложенным рулем используются геометрические характеристики циркуляции, такие как выдвиг, прямое смещение, обратное смещение, тактический диаметр циркуляции, диаметр установившейся циркуляции. Точность их получения достаточна для того, чтобы пользоваться ими для расчета движения судна при прохождении вблизи навигационных опасностей в открытом море. Однако на акватории порта в стесненных условиях не допускается движение судна с большой скоростью и при этом оно больше подвержено влиянию внешних условий, вследствие чего точность получения геометрических характеристик циркуляции не позволяет использовать этот метод при оценке положения судна относительно других судов и причальных сооружений. Задача значительно усложняется при использовании буксиров, и возникают дополнительные силы и моменты.

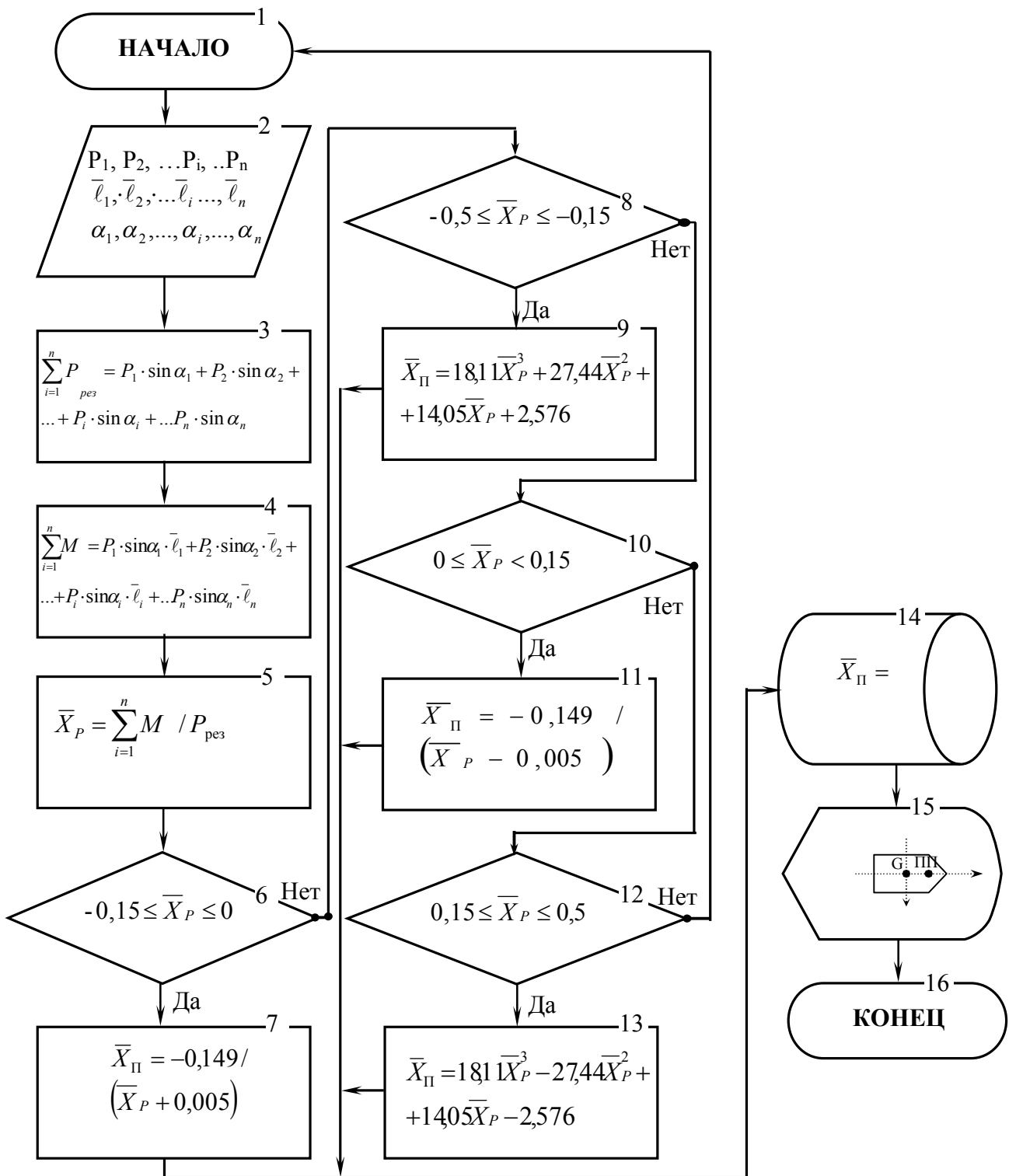


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма расчета положения полюса поворота

Выводы и предложения:

1. Предложенное устройство позволяет говорить о создании предпосылок для гарантированной навигационной безопасности, за счет детерминизации алгоритмов операторской деятельности, согласованности психофизиологических характеристик оператора и факторов движения и качественного планирования траектории перемещения судна при проводке судов.

2. Реализация и внедрение в практику штурманской работы устройства позволит говорить о появлении средства поддержки принятия решения, а его функциональные возможности находятся на современном уровне состояния мировой судоводительской



науки. Создаваемое устройство может быть выполнено на базе малогабаритного персонального компьютера.

3. Рассмотренные идеи и принципы построения устройства могут быть внедрены на судах для выработки рекомендаций по маневрированию в стесненных условиях.

4. Предложенное устройство может быть использовано при тренажерной подготовке в процессе обучения капитанов, лоцманов и на старших курсах морских учебных заведений Украины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. Романов Г. С. Анализ аварийности в районе БДЛК и ХМК за период 1999-2002 годы / Г. С. Романов // Судовождение : сб. научных трудов ОНМА. – Вып. 6. – Одесса : Феникс, 2003. – С. 108-114.

3. Управление судном / [С. И. Демин, Е. И. Жуков и др.] – М. : Транспорт, 1991. – 359 с.

4. Мальцев А. С. Подготовка лоцманов к управлению манёврами судна / А. С. Мальцев, Г. С. Романов, Е. И. Гончаров, Г. Б. Вильский // Судовождение : сб. научн. трудов ОГМА. – Вып. 8. – Одесса : Феникс, 2004. – С. 63.

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

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

Голіков В.В., Мальцев С.Е. АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ МОРСЬКОГО СУДНА

Запропонований пристрій визначення положення полюса повороту дозволяє говорити про створення передумов для гарантованої навігаційної безпеки, за рахунок детермінізації алгоритмів операторської діяльності, узгодженості психофізіологічних характеристик оператора і факторів руху та якісного планування траєкторії переміщення судна при проводці суден.

Реалізація та впровадження в практику штурманської роботи пристрою дозволить говорити про появу засоби підтримки прийняття рішення, а його функціональні можливості знаходяться на сучасному рівні стану світової судноводійної науки. Створений пристрій може бути виконано на базі малогабаритного персонального комп'ютера. Розглянуті ідеї і принципи побудови пристрою можуть бути впроваджені на судах для вироблення рекомендацій з маневрування в обмежених умовах. Запропонований пристрій може бути використано при тренажерній підготовці у процесі навчання капітанів, лоцманів і на старших курсах морських навчальних закладів України.

Ключові слова: полюс повороту, гарантована безпека, підтримка прийняття рішення, обмежені умови, тренажерна підготовка.

Golikov V.V., Maltsev S.E. THE ALGORITHM FOR DETERMINING THE POSITION OF THE ROTATION POLE OF THE SHIP

The proposed device of determination position of the rotation's pole suggests the creation of the prerequisites to guarantee navigational safety, due to determinism of the algorithms operator activity and the movement of factors and quality planning the path of the vessel in pilotage.

The implementation and practical application of the navigation device will give the possibility to talk about the emergence decision support, and its functional possibility are at present level of the Navigation global science. Created device may be done on the basis of a small-size personal computer.

Discussed ideas and principles of the devices can be implemented on ships for making recommendations for maneuvering in tight areas. The proposed device can be used in the simulator training in teaching masters, pilots and at senior years of maritime training institutions in Ukraine.

Keywords: the pole of rotation, guaranteed security, support decision making, restricted conditions, simulator training.



RATIONAL MODES OF OPERATION FOR A FOUR-ARM TILLER ELECTRO-HYDRAULIC STEERING GEAR WITH RESPECT TO MULTI-ALTERNATIVENESS AND PREFERENCES

Goncharenko A.V.

It is investigated the expediency of application of a four-arm tiller electro-hydraulic steering gear equipped with piston hydro-cylinders instead of the plunger steering engine 4EP220, Stork (the Netherlands), for a general dry cargo vessel, 13,500 t DWT and 18.2 knots speed. Substantiation of the effectiveness of the retrofitted steering gear is fulfilled with the help of suitable mathematical modeling illustrated with corresponding plots. It is shown the role of multi-alternativeness, preferences, entropy, and conflicts in the process of operational control.

Keywords: electro-hydraulic steering gear, dry cargo vessel, subjective analysis, subjective entropy, individual preferences, multi-alternative situations, conflicts of preferences, canonical distributions, variational principle.

Introduction. Accordingly to [1], electro-hydraulic steering gears (EHSg) are widely used in the world marine ships' fleet. Due to their substantial advantages (compactness, small masses and dimensions, convenience for being automated, reliability, and effectiveness of operation, higher accuracy in control of the helm/rudder and correspondingly holding the ship at a course, ability to bear significant overloading without operational characteristics getting worse etc.); these engines successfully supplanted got old types of steering gears: steam, electric, and hand controlled [1]. The choice of a proper operational mode for steering engines is made by the active element (human/individual) of the operational control system with respect to multi-alternativeness of operational situations and at conditions of possible conflicts of subjective preferences [2-7].

Urgency of researches. The urgency of researches is based upon the necessity to reduce the mentioned above overloading of steering gears. It is important to have a decrease in forces acting in EHSg during their operation. The same to the field of human factor influence upon the process of rational and safety operation.

Analysis of the latest researches and publications. All machinery-building firms of the developed countries manufacture steering gears [1]. Since the previous fundamental researches represented in monographs [3, 4] and the newest publications [2, 5-7], the method of subjective analysis has been applied to solving problems of control in active systems.

The developed theoretical apparatus is supposed to be applied to the still unsolved part of the problem. Particularly in this paper, it is the substantiation of the expediency of the four-arm tiller EHSg usage. And in the further publications the conflict of individuals' preferences is to be researched.

The task setting. Thus, the purpose of this paper is to research the advantages of a four-arm tiller EHSg application. That is the first (introductory) part of a bigger problem of making the choice of the EHSg rational modes of operation in conditions of multi-alternativeness and possible conflicts.

The main content (material). The idea is to improve the drive of a plunger EHSg with a structure of a four-arm tiller in conjunction with application of piston hydraulic cylinders instead of the plunger ones. We foresee to get an advantage in forces acting in the cylinders at greater angles of the ship's helm blade deflection. Also, there is an opportunity of choice of the combined mode of operation which suites the best the researched concept. And the concept itself on conditions of multi-alternativeness and possible conflicts implies involvement of subjective individuals' preferences.

Made simplifications are as following: we neglect most forces of resistance, inertiality of the system, suppose equilibrium/steady state, assume predictable operational information and data of EHSg.



For expositional ease the vast majority of the intermediate mathematical expressions are omitted.

The problem formulation. For a widely used plunger EHSГ the sketch of forces and moments acting in the engine is shown in fig. 1.

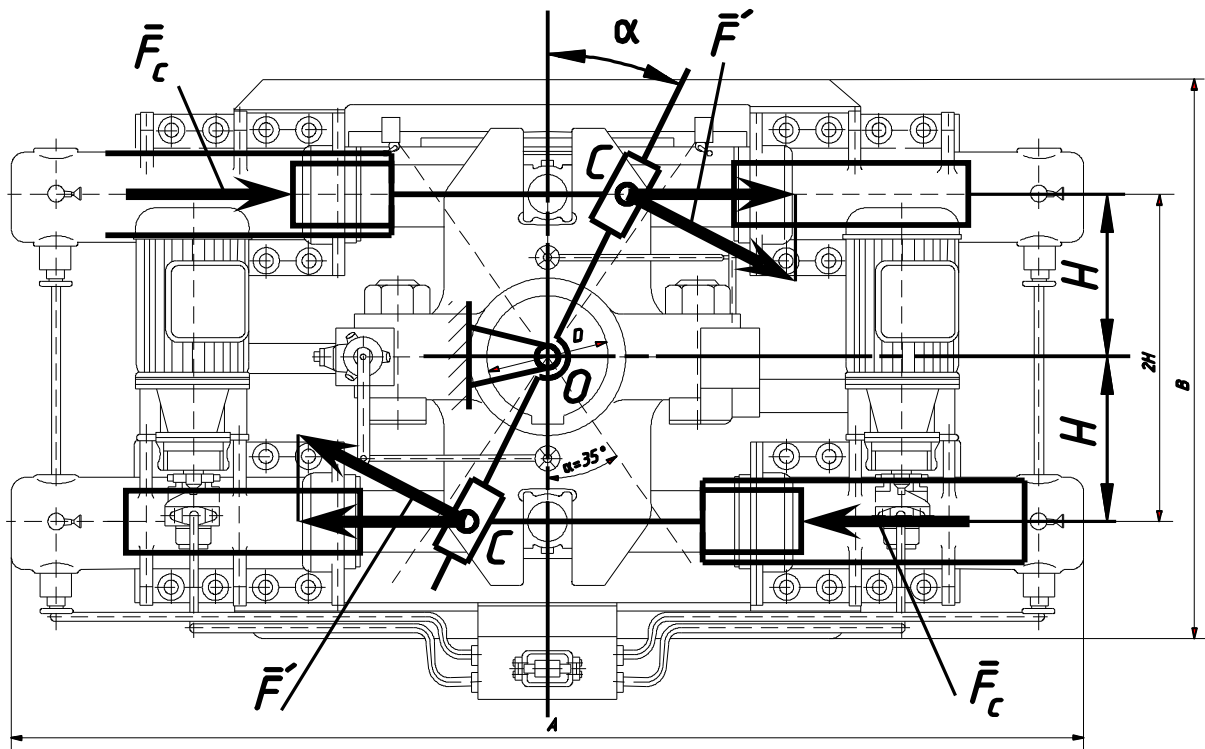


Figure 1 – Scheme of forces and moments acting in a plunger EHSГ

On conditions of just statics equilibrium, which is acceptable for a simplified problem setting and represents not a transient process but a steady one, accordingly to the scheme in fig. 1, the force acting in the hydro-cylinder, therefore, for the roughly evaluations is

$$F_c = \frac{M_b \cos^2 \alpha}{2H}, \quad (1)$$

where F_c – force acting in the hydro-cylinder (see fig. 1); M_b – moment acting on the rudder; α – angle of the tiller turning (see fig. 1); H – half-a-distance between axes of the plungers motions, the arm of the force F_c action applied to the plunger in the hydro-cylinder (see fig. 1).

In accordance with the methods presented in [1], the moment acting on the rudder, with taking into consideration the forces of friction in the bearings of the steering engine, is

$$M_b = (1.2 \dots 1.3)M_a, \quad (2)$$

where M_a – hydrodynamic moment at the helm blade.

The hydrodynamic moment will be determined by the expression [1]

$$M_\alpha = \frac{C_n k_k k_g \rho v_0^2 F (C_d b - b_1)}{2}, \quad (3)$$

where C_n – coefficient of the normal force; k_k – coefficient that evaluates the influence of the ship's hull; k_g – coefficient that evaluates the influence of the ship's propeller; ρ – mass density of the sea water on an average; v_0 – speed of flow that attacks the ship's helm blade; F – squared area of the ship's helm blade; C_d – empirical coefficient that evaluates the location

of the normal force application point; b – width of the ship’s helm blade; b_1 – width of the balancing part of the helm blade.

For the four-arm tiller EHSГ the scheme of forces and moments acting in the system is depicted in fig. 2.

In such a case, when a four-arm tiller EHSГ is installed on board a ship, for the situation when the four-arm tiller EHSГ provides the same speed of the helm deflection as the previously considered plunger one, also the four-arm tiller EHSГ warrants the development of the identical to the plunger engine moment at the rudder, thus the powers of the both steering gears are the same, there are a few modes of operation for the four-arm tiller EHSГ.

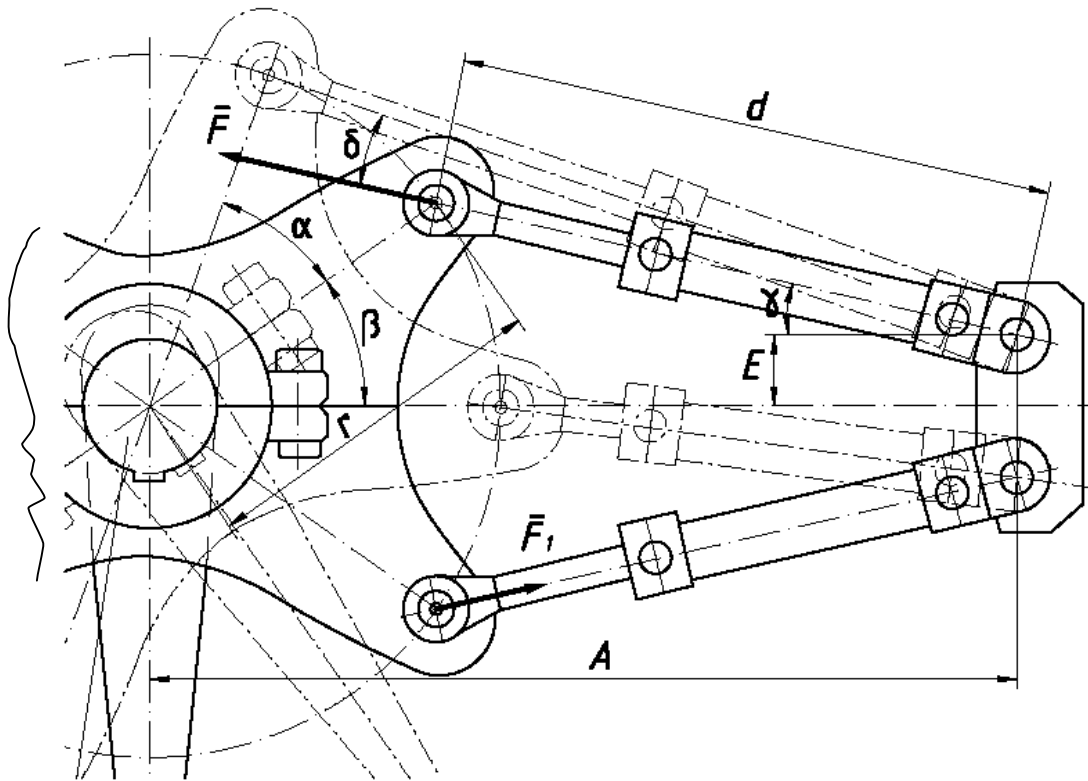


Figure 2 – Scheme of forces and moments acting in a four-arm tiller EHSГ

We will now consider the simplest elementary operational modes for the four-arm tiller EHSГ equipped with the piston hydro-cylinders (see fig. 2).

For the first mode of operation, it is working the two diagonal hydro-cylinders, pushing their rods out, with the other two cylinders staying idle (see fig. 2). For such a mode of operation the force acting in the running hydro-cylinders will be

$$F' = \frac{M_b}{2r \sin(\alpha + \beta + \gamma + \delta)}, \quad (4)$$

where F' – force acting in the running hydro-cylinders, that is \bar{F} (see fig. 2), in the case if the first mode of operation is applied; r , α , β , γ , δ – structure parameters of the four-arm tiller EHSГ equipped with the hydro-cylinders; meaning of these parameters denoted in formula (4) and other parameters of the considered EHSГ is obviously interpreted from the scheme shown in fig. 2.

The angle of deflection of the working cylinder will make up to the value

$$\delta = -\gamma - \arctg \frac{r \sin(\alpha + \beta) - E}{r \cos(\alpha + \beta) - A}, \quad (5)$$



where E , A – structure parameters of the considered EHS; again, their meaning is explicitly clear from the scheme shown in fig. 2, for the mentioned above expositional ease we deliberately omit their intermediate mathematical derivations and expressing them through the angles and distances.

For the second mode of operation, we consider the first two diagonal hydro-cylinders working for pushing their rods out and the other two diagonal hydro-cylinders are running with pulling their rods in (retracting them) (see the exactly corresponding situation in fig. 2). For such a mode of operation the force acting in the running hydro-cylinders will be

$$F'' = \frac{M_b}{2r[\sin(\alpha + \beta + \gamma + \delta) + 0.75\sin(\beta - \alpha + \gamma - \delta)]}, \quad (6)$$

where δ' – angle of deflection for the hydro-cylinder which retracts its rod. In formula (6) it is implied that on conditions of the same hydraulic pressure the retracting its rod cylinder develops just as much of its force as 0.75 of that one of the pushing out hydraulic cylinder. That is because of the differences in the active areas of their pistons.

The angle of deflection for the hydro-cylinder which pulls in its rod will constitute as much as up to

$$\delta' = \gamma + \text{arctg} \frac{r \sin(\beta - \alpha) - E}{r \cos(\beta - \alpha) - A}. \quad (7)$$

Then, for the third of the considered elementary modes of operation, when all four cylinders are working for pushing their piston rods out, we will get the corresponding expressions

$$F''' = \frac{M_b}{2r[\sin(\alpha + \beta + \gamma + \delta) + \sin(\alpha - \beta + \delta'' - \gamma)]}, \quad (8)$$

where δ'' – angle of deflection for the lower hydro-cylinder depicted on the sketch in fig. 2.

This angle is determined by

$$\delta'' = \gamma - \text{arctg} \frac{E + r \sin(\alpha - \beta)}{r \cos(\alpha - \beta) - A}. \quad (9)$$

Formulas (7) and (9) are identical.

As we can see now there are a few modes of operation for EHS, the so called options or alternatives that an individual may choose. Individual's subjective preferences determine the choice. In subjective analysis [2-7] there is a great discussion on the theme of optimality of human's behavior aimed at, and subjective preferences distributed on, the set of alternatives in a problem-resource situation under uncertainty. This optimality is postulated and mathematically this concept is formulated as finding extremums (maxima or minima) of a certain functional that contains a measure of a certain individual's subjective uncertainty regarding to the set of achievable for him/her alternatives. The functional is expressed in a rather general view [3, P. 119, (3.38)]

$$\Phi_\pi = \alpha H_\pi + \beta \varepsilon + \gamma N, \quad (10)$$

where π – function of the individual's subjective preferences; H_π – subjective entropy; $\varepsilon = \varepsilon(\pi, U, \dots)$ – function of subjective effectiveness; N – normalizing condition; α , β , γ – structural parameters, they can be considered in different situations as Lagrange coefficients, weight coefficients or endogenous parameters which represent certain psychic properties.

For this problem formulation we might take the functional either in the view of (10) or in the view of its natural extension and generalization for the case of dynamical modelling of control of operational processes developing in time. Such an approach implies the Euler-



Lagrange variational principles. Thus, the postulated functional now is being written in the form of [5, P. 57, (1)]

$$\Phi_{\pi} = \int_{t_0}^{t_1} \left(- \sum_{i=1}^N \pi_i(t) \ln \pi_i(t) + \beta \sum_{i=1}^N \pi_i(t) F_i + \gamma \left[\sum_{i=1}^N \pi_i(t) - 1 \right] \right) dt, \quad (11)$$

where t – time; $-\sum_{i=1}^N \pi_i(t) \ln \pi_i(t)$ – entropy of subjective preferences of $\pi_i(t)$; N – number of the achievable alternatives; F_i – subjective efficiency function of the i^{th} alternative; $\sum_{i=1}^N \pi_i(t) - 1$ – normalizing condition.

Taking the functional in the view of (10) or (11) we come to canonical distributions of preferences [3, P. 115-135]. For this problem setting we briefly consider the set of two achievable alternatives and in the next and subsequent papers we will be researching the topic in more depth.

If the set of alternatives consists of two optional modes of EHS operation, let us say, F' and F'' , then functional (10) will be

$$\Phi_{\pi} = - \sum_{i=1}^2 \pi_i \ln \pi_i - \beta \sum_{i=1}^2 \pi_i F^i + \gamma \left[\sum_{i=1}^2 \pi_i - 1 \right]. \quad (12)$$

Solving (12) for necessary conditions of extremum

$$\frac{\partial \Phi_{\pi}}{\partial \pi_i} = 0, \quad (13)$$

we get the desired canonical distributions of preferences

$$\pi_1 = \frac{e^{-\beta F'}}{e^{-\beta F'} + e^{-\beta F''}}, \quad \pi_2 = \frac{e^{-\beta F''}}{e^{-\beta F'} + e^{-\beta F''}}. \quad (14)$$

Measure of uncertainty of these preferences in the view of their entropy or a function on the basis of the entropy [2-7] allows us judging about the degree of conflictability of the operational situation. Parameters and threshold values of the entropy give us a tool for more effective control in, for instance, this special case of EHS operation.

The problem solution. After finding the forces and moments from the developed methods (1)-(9) for both types of EHS, we may compare results and on their basis choose the operational mode that fits the required restrictions the best.

The combined mode of operation which is just a compilation of the considered before elementary ones is developed in the view of a conditional system of equations

$$F_{cn} = \begin{cases} F'', & \alpha < \alpha_0; \\ F', & \alpha = \alpha_0; \\ F''', & \alpha > \alpha_0, \end{cases} \quad (15)$$

where α_0 – angle of deflection of the ship's helm blade at which the corresponding hydrocylinder it changes its-own mode of operation. Here, it is implied the change, let us say, for example, from retracting onto pushing out the rod and vice versa from pushing the rod out to pulling it back again.

This angle, for instance, for the given conditions (see fig. 2), is

$$\alpha_0 = \beta - \arctg \frac{E}{A}. \quad (16)$$



For interpretational purposes of the obtained results let us introduce a coefficient

$$k = \frac{F_{cn}}{F_c}, \tag{17}$$

which is the ratio of the forces acting in the four-arm tiller EHSГ equipped with the piston hydro-cylinders (see fig. 2) to the forces acting in the traditional plunger EHSГ (see fig. 1).

Practical application of the problem solution. Let us consider, for example, a general cargo, universal, dry cargo vessel, DWT 13,500 t, the ship's speed 18.2 knots. The prototype-vessel, let us say, of the «Geroi Panfilovtsy» series. She is presumable equipped with the plunger EHSГ of the steering engine builder's type of 4EP220, Stork (the Netherlands); the nominal moment equals 1,167 kNm [1].

Now, consider a possible assumed retrofitting with the replacement of the installed EHSГ for the proposed improved four-arm tiller EHSГ equipped with the piston hydro-cylinders type shown in fig. 2.

For the supposed approximate data given: $\alpha = 0 \dots 35^\circ$; $H = 0.6$ m; C_n approximated with the expression

$$C_n = -6 \cdot 10^{-6} \alpha^4 + 0.0003 \alpha^3 - 0.0043 \alpha^2 + 0.0665 \alpha + 0.0025; \tag{18}$$

$k_k = 0.578$; $k_g = 2.015$; $\rho = 1,030$ kg/m³; $v_0 = 18.2$ knots; $F = 24.375$ m²; C_d approximated with the expression

$$C_d = 4.86 \cdot 10^{-5} \alpha^2 + 3.01 \cdot 10^{-3} \alpha + 0.208; \tag{19}$$

$b = 3.75$ m; $b_1 = 0.9375$ m; $r = 0.67$ m; $\beta = 20^\circ$, $\gamma = 5^\circ$; $A = 1.69$ m; $E = 0.135$ m; mathematical modeling by formulae (1)-(9), (15)-(19) demonstrates expediency of the four-arm tiller EHSГ equipped with the piston hydro-cylinders application.

The researches results. The results of the modeling by formulae (1)-(9), (15), (16), (18), and (19) are illustrated in fig. 3.

As a result of the researches we see the advantages of the four-arm tiller EHSГ equipped with the piston hydro-cylinders type shown in fig. 2. The ratio (17) is represented with its plot in fig. 4. In the absolute values, figuratively speaking, we lose for about 16.4 kN at 100 kN necessary, but gain 33.1 kN at 310 kN necessary instead (see fig. 3, 4).

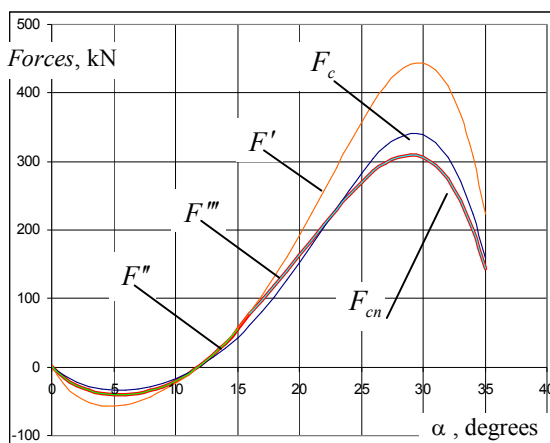


Figure 3 – Forces acting in the EHSГ

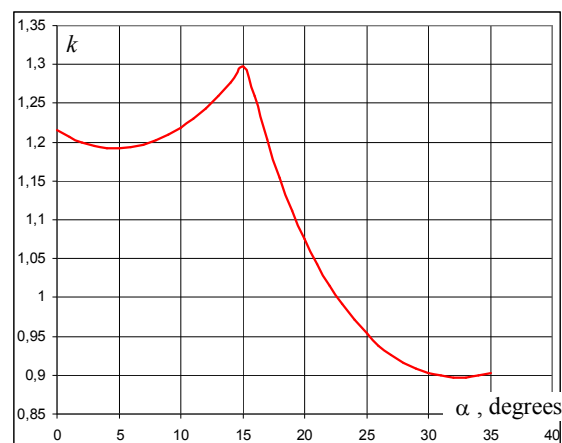


Figure 4 – Advantage of retrofitting the EHSГ

As we can see from fig. 3 and 4, for assumed data, at the diapason of the greater angles of the helm deflection of about $30 \dots 35^\circ$, the advantage of the proposed retrofitted EHSГ constitutes up to more than 10% by the force necessary for the same moment at the rudder. Although at the smaller angles of the helm deflection, approximately $0 \dots 17^\circ$, the disadvantage of the improved steering engine is between $20 \dots 30\%$, nevertheless the forces acting are about



10 times less than for the marginal angles. Thus, we observe the reduction of the maximal tensions.

Conclusions. Evidently, we might suppose that the stress in the EHSG may be decreased, therefore the mass of the installation can be reduced, reliability – raised.

Prospects of further researches. For further researches it is prospective to deal with the entropy paradigm in studying multi-alternativeness of operational situations on conditions of possible conflicts with the use of the methods (10)-(14).

LIST OF THE USED LITERATURE

1. Харин В. М. Судовые гидравлические рулевые машины : учеб. пособ. / В. М. Харин. – Одесса : Фенікс, 2005. – 280 с.
2. Kasianov V. Subjective entropy of preferences: monograph / V. Kasianov. – Warsaw : Institute of aviation, 2012. – 450 p.
3. Касьянов В. А. Субъективный анализ : монография / В. А. Касьянов. – К. : НАУ, 2007. – 512 с.
4. Касьянов В. А. Элементы субъективного анализа : монография / В. А. Касьянов. – К. : НАУ, 2003. – 224 с.
5. Kasyanov V. O. Variational principle in the problem of ship propulsion and power plant operation with respect to subjective preferences / V. O. Kasyanov, A. V. Goncharenko // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – № 2 (7). – С. 56-61.
6. Goncharenko A. V. Mathematical modeling of the ship's main engine random operational process / A. V. Goncharenko // Двигатели внутреннего сгорания : Научно-технический журнал. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2012. – № 2. – С. 117-125.
7. Goncharenko A. V. Measures for estimating transport vessels operators' subjective preferences uncertainty / A. V. Goncharenko // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – № 1 (6). – С. 59-69.

Гончаренко А.В. РАЦІОНАЛЬНІ РЕЖИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ РУЛЬОВОЇ МАШИНИ З ЧОТИРИПЛЕЧОВИМ РУМПЕЛЕМ З УРАХУВАННЯМ БАГАТОАЛЬТЕРНАТИВНОСТІ ТА ПЕРЕВАГ

Досліджено доцільність застосування електрогидравлічної рульової машини з чотирьохплечовим румпелем, обладнаної поршневыми гідроциліндрами, замість плунжерної 4EP220, Stork (Нідерланди), для суховантажного судна, 13500 т дедвейт, швидкість 18,2 вузла. Обґрунтування ефективності переобладнаної рульової машини виконано за допомогою належного математичного моделювання проілюстрованого відповідними графіками. Показано роль багатоальтернативності, переваг, ентропії та конфліктів у процесі експлуатаційного керування.

Ключові слова: електрогидравлічна рульова машина, суховантажне судно, суб'єктивний аналіз, суб'єктивна ентропія, індивідуальні переваги, багатоальтернативні ситуації, конфлікти переваг, канонічні розподіли, варіаційний принцип.

Гончаренко А.В. РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РУЛЕВОЙ МАШИНЫ С ЧЕТЫРЕХПЛЕЧЕВЫМ РУМПЕЛЕМ С УЧЕТОМ МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОСТИ И ПРЕДПОЧТЕНИЙ

Исследована целесообразность применения электрогидравлической рулевой машины с четырехплечевым румпелем, оборудованной поршневыми гидроцилиндрами, вместо плунжерной 4EP220, Stork (Нидерланды), для сухогрузного судна, 13500 т дедвейт, скорость 18,2 узла. Обоснование эффективности переоборудованной рулевой машины выполнено с помощью должного математического моделирования проиллюстрированного соответствующими графиками. Показана роль много альтернативности, предпочтений, энтропии и конфликтов в процессе эксплуатационного управления.

Ключевые слова: электрогидравлическая рулевая машина, сухогрузное судно, субъективный анализ, субъективная энтропия, индивидуальные предпочтения, многоальтернативные ситуации, конфликты предпочтений, канонические распределения, вариационный принцип.



ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СПОСОБІВ ОБРОБКИ БАЛАСТНИХ ВОД

Горбов В.М., Мітенкова В.С., Тимофєєва А.С.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв

Виконана оцінка додаткових витрат енергії для різних варіантів схемних рішень обробки баластних вод на борту судна. Проведений аналіз енергоспоживання та тривалості різних механічних, фізичних та хімічних способів очистки заборотної води. Отримано залежності витрат напору та додаткової електричної потужності в баластній системі від продуктивності для різних способів обробки заборотної води на судні.

Ключові слова: баластні води, енергетична ефективність, фільтрація, ультрафіолетове знезараження води, електрохімічна обробка, хлорування.

Постановка проблеми. Технологія перевезення вантажів водним транспортом передбачає наявність на борту судна певної кількості заборотної води (баласту) для забезпечення остійності та осадки судна при його переходах порожнем. У забортній воді містяться різні живі організми, що можуть зберігати здатність до життєдіяльності навіть після тривалих морських переходів. Скидання баласту, що містить чужорідні для даного району організми, може завдати шкоди рибальству, колоніям коралів, аквакультурним фермам й іншим сферам господарчої діяльності, стати причиною виникнення інфекцій [1-3].

Зростаюче міжнародне значення проблеми переносу морських організмів з водняним баластом призвело до створення відповідних законодавчих документів як на регіональних рівнях, так і на рівні ООН та ІМО [4, 5]. У зв'язку з цим є досить актуальним питання обробки баластних вод для запобігання скиданню небажаних мікроорганізмів зі суден в портах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У багатьох країнах проводяться дослідження методів обробки баластних вод. Серед низки існуючих методів обробки баласту одним із найбільш перспективних вважається очищення заборотної води на борту судна [6, 7]. Враховуючи актуальність даної тематики, є ряд публікацій, присвячених різним способам обробки. Так, у звіті, представленому Американським бюро судноплавства (ABS), проведено огляд та порівняння систем та окремого обладнання для очищення баласту різних виробників [8]. Ґрунтовне дослідження ефективності обробки заборотної води хлором приведено в роботі [9]. Оцінка економічної ефективності, капітальних та експлуатаційних витрат для різних способів обробки заборотної води було проведено американськими дослідниками [10]. Дослідження обробки заборотної води об'ємним шляхом у баластних танках та електрохімічним способом представлені у наукових публікаціях [11] та [12], відповідно.

Схеми обробки баластної води на суднах включають комплекс обладнання, де відбуваються процеси механічної, фізичної та хімічної очистки. У відомих публікаціях не розглядаються питання оцінки ефективності схем з використанням декількох методів поспіль. Оскільки дана наукова задача є відносно новою, оцінці енергетичної ефективності процесів очищення баластних вод також раніше не присвячувалося достатньо уваги.

Мета статті – оцінка витрат енергії для роботи систем очищення баластних вод при використанні послідовності різних процесів механічної та фізико-хімічної обробки.

Виклад основного матеріалу. На сьогоднішній день виділяють п'ять основних методів обробки баластних вод.

Перший метод – виключення скидання баласту взагалі. Це найнадійніший спосіб, він застосовується в тих випадках, якщо скидання баластних вод заборонено повністю. Однак даний спосіб не є практичним [13].

Другий метод – зменшення концентрації морських організмів, що містяться в



прийнятому на борт водяному баласті. Це може бути досягнуто шляхом обмеження кількості прийнятого водяного баласту, а також шляхом вибору місць прийому баласту (не слід приймати баласт на малих глибинах, у районах застою води, поблизу від місць зливу стічних вод і днопоглиблювальних робіт і районів виявлення патогенних мікроорганізмів) [7].

Третій метод полягає в обробці водяного баласту на борту судна. На даний час розроблено певні технології цього методу, рекомендовані керівництвом ІМО[8].

Четвертий метод – берегова обробка – за оцінками Американського Бюро Судноплавства має ряд переваг. Однак необхідно врахувати, що багато суден не мають можливості здавати водяний баласт на берегові приймальні споруди. Що стосується портів, то далеко не всі з них можуть надати судну відповідні приймальні споруди. При цьому малоймовірно, що найближчим часом порти почнуть будувати приймальне обладнання для водяного баласту, маючи ще багато не вирішених проблем з прийомним обладнанням, необхідним відповідно до правил Конвенції МАРПОЛ.

П'ятий метод полягає в зміні баласту у водах відкритого океану або його розбавленні.

На сьогоднішній день найбільш ефективним у поєднанні з надійністю та можливістю необмеженого застосування на судах є третій метод, що передбачає обробку баласта на борту судна. Така обробка може здійснюватися наступними способами [8]:

- фізичним (нагрівання, обробка ультразвуком, ультрафіолетовим випромінюванням, магнітним полем, іонізація сріблом, і т.п.);
- механічним (фільтрування, внесення змін у конструкцію судна, застосування спеціальних покриттів танків і т.п.);
- хімічним (озонування, видалення кисню, хлорування, застосування біореагентів і т.п.);
- біологічним – шляхом додавання в баластну воду хижих або паразитних організмів з метою знищення шкідливих мікроорганізмів.

Серед перерахованих способів поки немає достатньо ефективних і економічних. Так, наприклад, механічна обробка шляхом сепарування або фільтрування займає багато часу і не забезпечує відділення мікроорганізмів, вона потребує видалення відкладень, що утворюються в результаті фільтрування.

Застосування хімічної обробки (найдоступніший поки спосіб) може спричинити ряд проблем:

- очевидний ризик для здоров'я екіпажу;
- висока швидкість корозії баластних насосів, трубопроводів, покриттів танків та інших частин баластної системи;
- забруднення цими хімікатами морського середовища в результаті їх скидання разом з баластом.

Фізичний вплив від ультрафіолетових променів, ультразвуку, нагрівання баластної води також несе великий ризик для здоров'я екіпажу, може викликати корозію корпусних конструкцій, а у разі скидання гарячої води – пошкодити місцеву морську екосистему. Суттєвий недолік при використанні фізичного впливу – відсутність гарантії знищення патогенних мікроорганізмів [1].

Обробку баласту на борту судна можна умовно розділити на два етапи: твердо-рідинне розподілення та дезінфекція [4]. Твердо-рідинне розподілення здійснюється шляхом фільтрування або застосування гідроциклону. Дезінфекція видаляє і/або деактивує мікроорганізми, використовуючи один чи декілька наступних методів [4]:

- хімічна інактивація мікроорганізмів біоцидами (біоциди, що окислюються – загальні дезінфікуючі засоби, які активуються, руйнуючи органічні структури, такі як клітинні мембрани, або нуклеїнові кислоти; біоциди, що не окислюються, впливають на репродуктивні, нервові, або метаболічні функції організмів);
- фізико-хімічна інактивація мікроорганізмів за допомогою процесів, таких як ультрафіолетове світло, висока температура або кавітація;
- дезоксидація – процес видалення кисню з води, внаслідок чого настає асфіксія



мікроорганізмів.

Більшість широко розповсюджених систем включає дві або більше стадії обробки баластних вод (рис. 1).

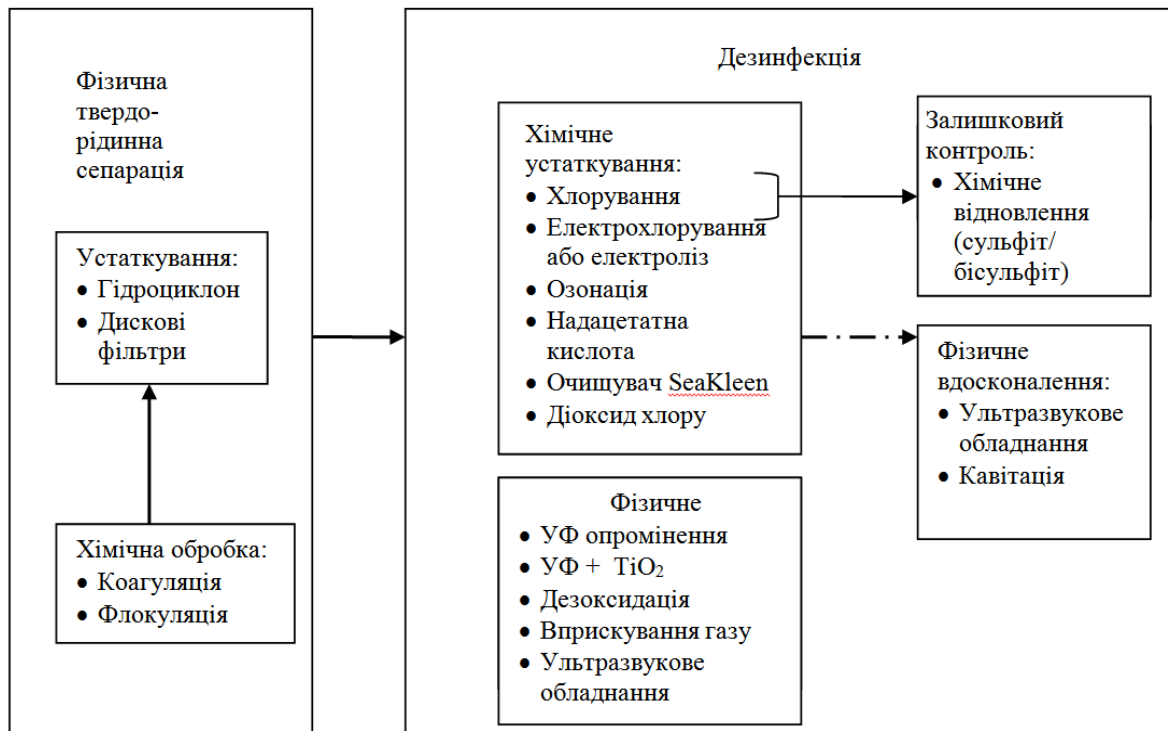


Рисунок 1 – Способи обробки баластних вод

На практиці застосовують наступні способи обробки баластних вод:

- коагуляцію
- фільтрування;
- розділення фаз під дією відцентрових сил в гідроциклонах;
- дезінфекція ультрафіолетовим випромінюванням;
- електрохімічна обробка;
- хлорування.

Варіанти поєднання процесів очищення баластних вод наведено на рис. 2.

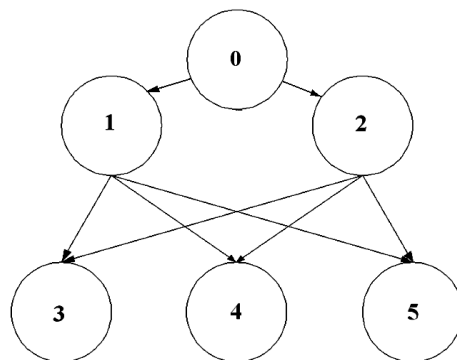


Рисунок 2 – Схема можливих послідовностей застосування способів обробки баластної води в системі очищення: 0 – коагуляція; 1– фільтрування; 2 – розділення в гідроциклоні; 3 – дезінфекція ультрафіолетовим промінням; 4 – електрохімічна обробка; 5 – хлорування

Наявність додаткового очисного обладнання буде напряму (за рахунок споживання додаткової кількості енергії із електричної системи судна) або опосередковано (додатковий місцевий опір в системі, що призводить до підвищених втрат тиску, як наслідок, потрібні відцентрові насоси з більш потужним електроприводом) впливати на енергоспоживаність баластної системи. Також слід враховувати тривалість процесів обробки, оскільки час



проведення баластних операцій, під час яких і здійснюється очищення забортної води, є обмеженим.

Розглянемо основні процеси обробки баластних вод докладніше з метою визначення їх впливу на енергетичну ефективність та тривалість очищення баласту у системі.

При *коагуляції* відбувається укрупнення дрібнодисперсних та колоїдних часток, у результаті чого збільшується швидкість їх осадження, а також можливість затримування пористими фільтруючими матеріалами. Для отримання колоїдів в воду, що обробляється, вводять добре розчинні сірчаноокислі (або хлористі) солі цих металів, які в результаті гідролізу утворюють малорозчинні гідрати оксидів цих металів. Фізико-хімічний процес коагуляції не потребує додаткових витрат енергії та займає в залежності від характеристик забортної води декілька секунд [14].

Час *фільтрації* можна оцінити за її швидкістю, яку на практиці визначають за рівнянням Козені-Кармана [15]:

$$u = \frac{\varepsilon^3 \varphi^2 d_{av}^2}{36\mu KT^2(1-\varepsilon)^2} \frac{\Delta p}{h_0}, \quad (1)$$

де ε – пористість матеріалу, що залежить від типу фільтруючого матеріалу; φ – фактор форми, що для сферичних частинок дорівнює 1,0; d_{av} – середній діаметр зерен в шарі, м; μ – динамічна в'язкість речовини, Па·с; K – коефіцієнт, який залежить від форми поперечного перерізу каналу; T – середня довжина пористих каналів, м; Δp – перепад тиску в фільтрі (залежить від характеристик фільтра), Па; h_0 – товщина пористого матеріалу, м.

Встановлення фільтрів суттєво впливає на збільшення втрат тиску в баластній системі і, як наслідок, на напір і потужність електродвигунів насосів.

В гідроциклоні на відміну від фільтрів відділення домішок з забортної води відбувається не в потоці, а в об'ємі. Враховуючи значні об'єми баласту, що приймаються на сучасні транспортні судна та обмежений час проведення баластних операцій, гідроциклони не знайшли поширення на водному транспорті за виключенням малих суден.

Час, що потребується для очищення води в гідроциклонах можна визначити за формулами (2) і (3) [16]:

$$t = \frac{V}{q}, \quad (2)$$

$$q = 864\alpha \frac{d}{d_n} a(2g\Delta H)^{0,5}, \quad (3)$$

де V – об'єм води, м³; q – подача гідроциклона, м³/с; α – коефіцієнт, що враховує втрату води з осадом; a – площа живого перетину живильного отвору, м²; d – діаметр зливного патрубку, см; d_n – еквівалентний діаметр живильного отвору, см; ΔH – втрата напору в гідроциклоні, м.

УФ-стерилізатор, що можна використовувати і в судових умовах, представляє собою металевий корпус, всередині якого знаходиться бактерицидна лампа. Вона, у свою чергу, розташована в захисній кварцовій трубці. Вода омиває кварцову трубку, обробляється ультрафіолетом і знезаражується. В одній установці може бути кілька ламп.

Потрібна бактерицидна потужність джерела випромінювання установки *ультрафіолетового знезараження води*, Вт, визначається як [17]:

$$F_b = \frac{Q\alpha K_b \lg(p/p_0)}{1563,4\eta_0\eta_n}, \quad (4)$$

де Q – продуктивність апарату, м³/год; α – коефіцієнт поглинання бактерицидного випромінювання, см⁻¹; K_b – коефіцієнт опірності бактерій кишкової палички, мкб·с/см² (мкб – мікробакт, одиниця вимірювання бактерицидного опромінення); p_0 – колі-індекс



води до опромінення, од./л; p – коли-індекс води після опромінення, од./л; η_0 – коефіцієнт використання бактерицидного опромінення; η_n – коефіцієнт використання інтенсивності потоку бактерицидних променів.

Кількість ламп в установці, шт., визначається як [17]:

$$n = F_b / F_L, \quad (4)$$

де F_L – потужність однієї лампи, Вт

Витрата електроенергії на знезаражування води, (Вт·год)/м³ [17]:

$$S = \frac{Nn}{Q}, \quad (5)$$

N – споживана потужність однієї лампи, Вт; Q – продуктивність апарату, м³/ч.

Електрохімічна обробка баластної води заснована на електролізі, сутність якого полягає у використанні електричної енергії для проведення процесів окислення і відновлення. Установки з електрохімічного знезараження досить компактні, що особливо важливо в суднових умовах. Зазвичай електрохімічна обробка використовується в поєднанні з іншими способами очищення, дозволяючи успішно очистити воду від домішок різного складу і дисперсності. У багатьох випадках електрохімічні методи виключають «вторинне» забруднення води аніонними та катіонними залишками, характерними для реагентних методів [17].

Найважливіший показник процесу електрохімічного очищення води – витрата електроенергії, що потребується для досягнення необхідного ступеня очищення в одиниці об'єму. Питома витрата електроенергії, (кВт·год)/ м³, в загальному випадку визначається як [17]:

$$W = \frac{ITU_{заг}}{Q}, \quad (6)$$

де I – сила струму, А; T – тривалість електролізу, год; $U_{заг}$ – напруга на електроді, В; Q – об'єм води, що обробляється за час T , м³.

Хлорування води, обробка води хлором і його сполуками – найбільш поширений спосіб знезараження води, що засновується на здатності вільного хлору і його сполук пригноблювати ферментні системи мікробів, які каталізують окислювально-відновні процеси. Цей метод знайшов своє застосування і в системах очищення баластних вод [9].

Процес обробки води на судні не обмежується знешкодженням шляхом введення потрібної кількості активного хлору під час прийому баласту окремим насосом-дозатором. Далі настає процес зберігання обробленої води, який характеризується швидкістю розпаду хлору у воді, яку можна розрахувати за допомогою відомих рівнянь кінетики хімічних реакцій. Для видалення залишків активного хлору із води її пропускають через вугільні фільтри [9].

На базі наведених вище матеріалів, а також з використанням класичних рівнянь гідродинаміки, була розроблена математична модель та проведені розрахунки втрат опору та додаткових енерговитрат в баластних системах на різних режимах роботи для різних комплектацій систем очищення. Залежності були отримані для великого, середнього та малого вантажних суден, відповідно для супертанкера «Dar Salwa» (об'єм баласту 97779 м³, потужність одного дизель-генератору (ДГ) – 1980 кВт), лісовозу «Cosco Wuishan» (об'єм баласту 9292,4 м³, потужність одного ДГ – 500 кВт,) та порому «Passio Per Formentera» (об'єм баласту 511 м³, потужність ДГ – 500 кВт). Розрахунки проводилися для наступних варіантів комплектації: 1 – без очисного обладнання (базовий варіант для порівняння), 2 – з фільтрацією, 3 – з установкою ультрафіолетового знезараження, 4 – з електрохімічною обробкою, 5 – з фільтрацією та установкою ультрафіолетового знезараження, 6 – з фільтрацією та електрохімічною обробкою. Результати представлено на рис. 3-5.

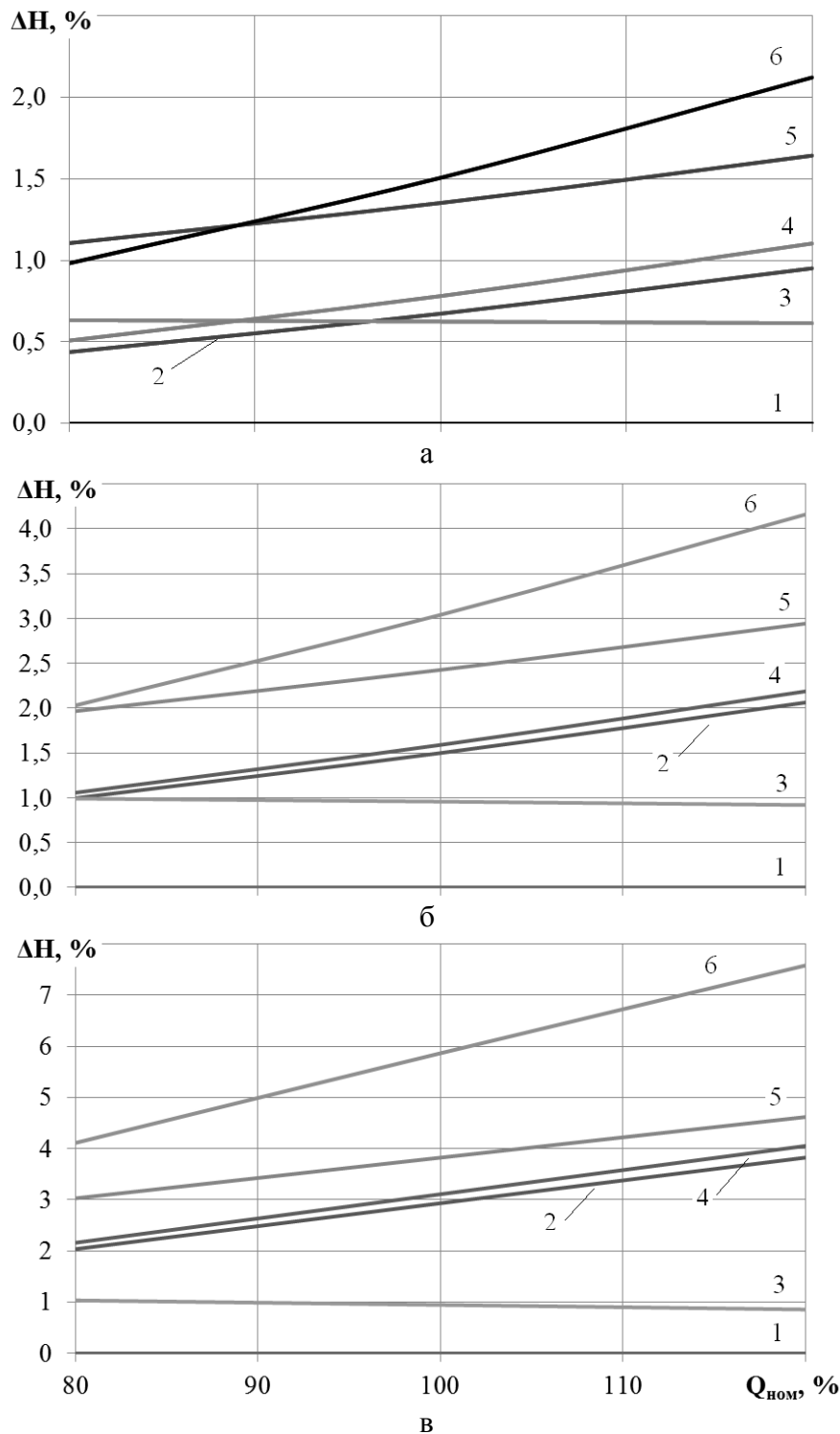


Рисунок 3 – Залежність втрат напору в системі від продуктивності та способу обробки баласту для: а – танкеру; б – лісовозу; в – порому; 1 – без очисного обладнання; 2 – з фільтрацією; 3 – з установкою ультрафіолетового знезараження; 4 – з електрохімічною обробкою; 5 – з фільтрацією та установкою ультрафіолетового знезараження; 6 – з фільтрацією та електрохімічною обробкою

При номінальній подачі в баластній системі максимальне збільшення втрат напору в системі становить 1,5 %, 3 % та 5,9 %, відповідно для великого, середнього та малого судна (рис. 3). При роботі системи з допустимим перевантаженням максимальне збільшення втрат напору в системі становить 2,1 %, 4,2 % та 7,6 %, відповідно для великого, середнього та малого судна. Максимальні втрати напору будуть при використанні в системі очищення фільтрації та електрохімічної обробки, трохи меншими вони будуть для варіанту з фільтрацією та установкою ультрафіолетового знезараження, а



найменші, порівняно з базовим варіантом, – для установки ультрафіолетового знезараження. Інші варіанти комплектації займають проміжні позиції.

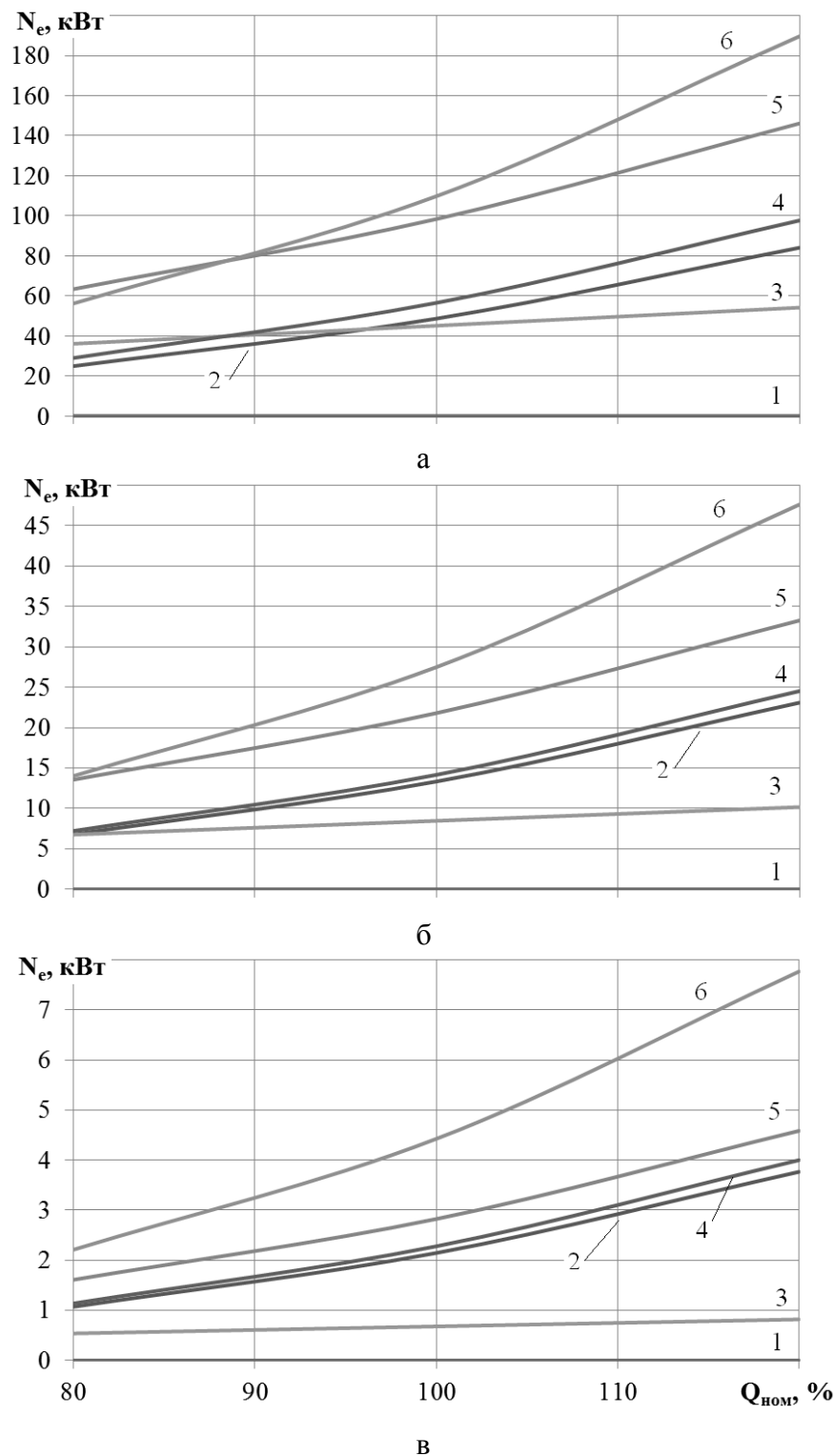


Рисунок 4 – Залежність потужності, що споживається очисним обладнанням баластної системи, від продуктивності та способу обробки баласту для: а – танкеру; б – лісовозу; в – порому; 1 – без очисного обладнання; 2 – з фільтрацією; 3 – з установкою ультрафіолетового знезараження; 4 – з електрохімічною обробкою; 5 – з фільтрацією та установкою ультрафіолетового знезараження; 6 – з фільтрацією та електрохімічною обробкою

Найбільші додаткові витрати енергії мають місце при використанні в системі очищення фільтрації та електрохімічної обробки, найменші – для установки ультрафіолетового знезараження (рис. 4). Додаткові витрати енергії складають від 2,7 %



до 9,6 % від потужності дизель-генератору в залежності від обраної схеми комплектації очисного обладнання (рис. 5).

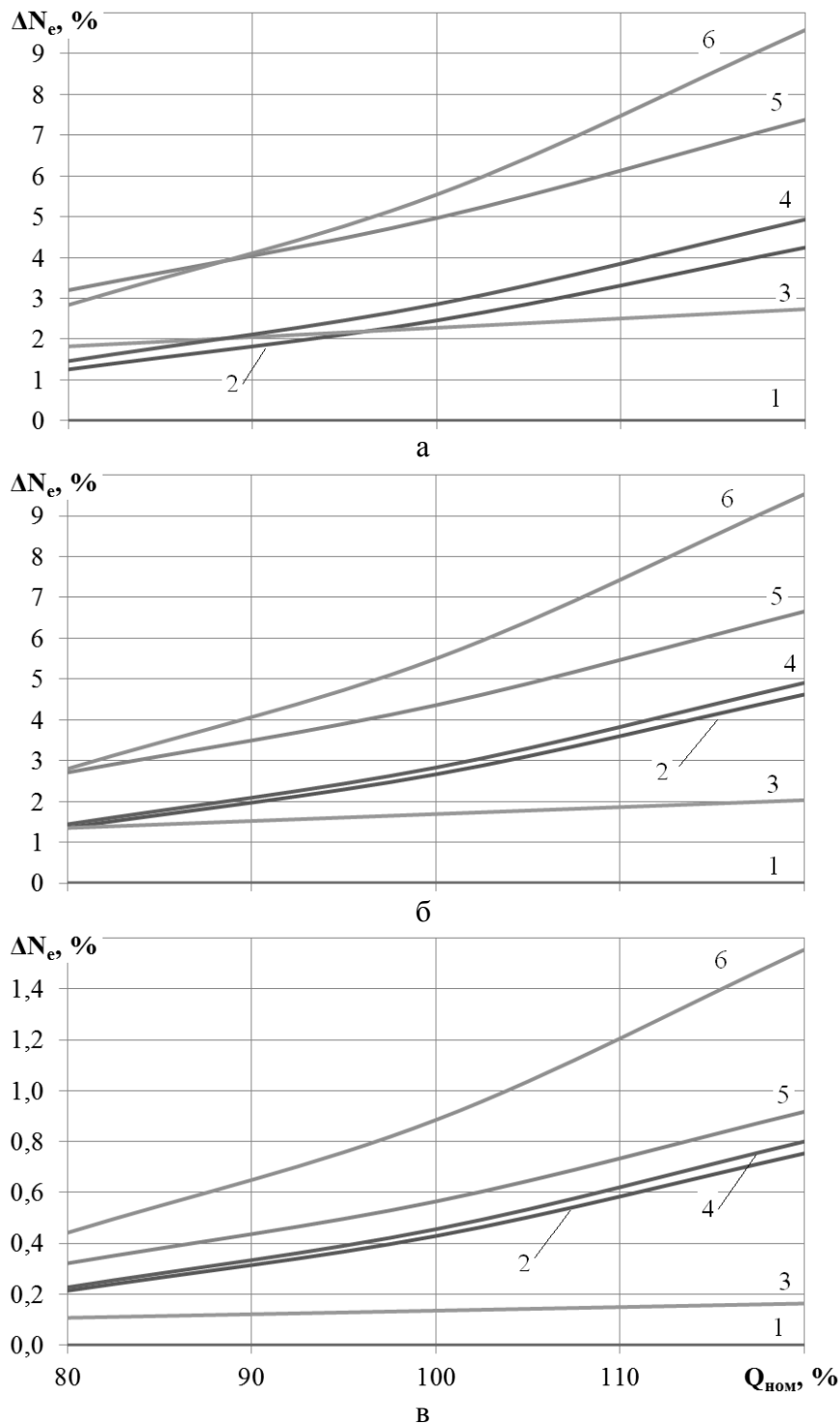


Рисунок 5 – Відношення потужності, що споживається очисним обладнанням баластної системи, до потужності ДГ: а – танкеру; б – лісовозу; в – порому; 1 – без очисного обладнання; 2 – з фільтрацією; 3 – з установкою ультрафіолетового знезараження; 4 – з електрохімічною обробкою; 5 – з фільтрацією та установкою ультрафіолетового знезараження; 6 – з фільтрацією та електрохімічною обробкою

Висновки. Розглянуті в дослідженні способи очищення баластних вод використовують проточну обробку, що не впливає на час баластних операцій за умови раціонального підбору устаткування. Енерговитрати для систем очищення баластних вод не перевищують 10 % від потужності допоміжного дизель-генератора, або 3,3 % від загальної встановленої потужності суднової електростанції. Отримані результати свідчать



про те, що при модернізації суден для відповідності новим законодавчим вимогам можна встановлювати очисне обладнання, не збільшуючи при цьому електричну потужність дизель-генераторів.

Подальші дослідження в даній тематиці будуть пов'язані з визначенням комплексних характеристик ефективності різних схем очищення баластних вод, що буде враховувати масо-габаритні, екологічні, економічні та енергетичні показники, а також з вибором раціонального складу та параметрів систем обробки баласту в залежності від типу та району плавання судна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Александров Б. Г. Проблема переноса водных организмов судами и некоторые подходы к оценке риска новых инвазий / Б. Г. Александров // Морской экологический журнал. – 2004. – Т. 3. – № 1. – С. 5-17.
2. Горбов В. М. Суднова енергетика та Світовий океан : підручник / В. М. Горбов, І. О. Ратушняк, С. І. Трушляков, О. К. Чередниченко. – Миколаїв : НУК, 2007. – 596 с.
3. Hallegraeff G. M. Transport of toxic dinoflagellates via ships' ballast water: bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies / G. M. Hallegraeff // Marine Ecology Progress Series. – 1998. – Vol. 168. – P. 297-309.
4. Ballast Water Management [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.imo.org/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Pages/Default.aspx>.
5. Ballast water treatment technologies and current system availability [Electronic resource] : Part of Lloyd's Register's Understanding Ballast Water Management series. – London, 2012. – Mode of access: http://www.lr.org/Images/BWT2012v2b_tcm155-242898.pdf.
6. Guide for ballast water treatment [Electronic resource]. – Houston : American Bureau of Shipping, 2011. – Mode of access: http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/187_BWT/Guide.
7. Emerging Ballast Water Management Systems [Electronic resource]. – Malmö, Sweden: IMO-WMU Research and Development Forum, 26-29 January 2010. – Mode of access: <http://globallast.imo.org/EmergingBallastWater.pdf>.
8. Ballast Water Treatment Advisory [Electronic resource]. – Houston: American Bureau of Shipping, 2011. – Mode of access: <http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/References/ABS%20Advisories/BWTreatmentAdv>.
9. Сустретова Н. В. Обеспечение экологической безопасности балластных вод на судах смешанного «река-море» плавания: диссертация кандидата технических наук: 03.02.08 / Н. В. Сустретова. – Нижний Новгород, 2011. – 140 с.
10. Felts A. Great Lakes Aquatic Invasive Species and Their Impacts on Milwaukee [Electronic resource] / A. Felts and others. – USA, Wisconsin : University of Wisconsin-Madison, 2010. – Mode of access: <http://www.lafollette.wisc.edu/publications/workshops/2010/invasive.pdf>.
11. Flower J. On continuous-flow techniques for the purging of contaminated water in ballast water tanks / J. Flower // Journal of Marine Engineering and Technology. – 2002. – № A1. – P. 37-47.
12. Yongxin Song Corrosion of marine carbon steel by electrochemically treated ballast water [Text] / Yongxin Song, Kun Dang, Huafang Chi, Delin Guan // Journal of Marine Engineering and Technology. – 2009. – № A13. – P. 49-55.
13. Чужеродные виды: руководящие принципы для предотвращения, интродукции, уменьшения воздействия, ЮНЕП/КБР/ВОНТТК/5/5, Монреаль, февраль 2000 г.
14. Марченко М. А. Статистическое моделирование пространственно неоднородной коагуляции с учетом диффузионного переноса частиц / М. А. Марченко // Сибирский журнал вычислительной математики. – 2005. – Т. 8. – № 3. – С. 245-258.



15. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: в 2 ч. Ч. 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. – М. : Химия, 1995. – 400 с.
16. Поваров А. И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках / А. И. Поваров. – М. : Недра, 1978. – 232 с.
17. Водоподготовка : справочник / под ред. С. Е. Беликова. – М. : Аква-Терм, 2007. – 240 с.

Горбов В.М., Митенкова В.С., Тимофеева А.С. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД

Выполнена оценка дополнительных расходов энергии для различных вариантов схемных решений обработки балластных вод на борту судна. Проведен анализ энергопотребления и продолжительности разных механических, физических и химических способов очистки забортной воды. Получены зависимости потерь напора и дополнительной электрической мощности в балластной системе от подачи для разных способов обработки забортной воды на судне.

Ключевые слова: балластные воды, энергетическая эффективность, фильтрация, ультрафиолетовое обеззараживание воды, электрохимическая обработка, хлорирование.

Gorbov V.M., Mitienkova V.S., Timofeeva A.S. THE ENERGY EFFICIENCY COMPARATIVE EVALUATION OF BALLAST WATER TREATMENT DIRECTIONS

The additory power consumption estimation for various variants of on-board ballast waters treatment schematics was placed. The analysis of power consumption and various mechanical, physical and chemical directions of on-board seawater treatment was carried out. The dependences of head losses and additory electrical power on the ballast system from supply for various on-board seawater treatment methods were obtained.

Keywords: ballast waters, energy efficiency, filtration, water ultraviolet decontaminating, electrochemical treatment, chloration.



СПЕЦИФИКА УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ МНОГОФАЗНОГО ПОТОКА ПРИ ЕГО СЕПАРАЦИИ

Малахов А.В., Леонов В.В., Старостин С.Н.

Одесский национальный морской университет,

Маслов В.А.

Херсонская государственная морская академия

В статье рассмотрена технология сепарации судовых льяльных вод при помощи процесса суперкавитации. Рассмотрены основные вопросы управления границами кавитационной каверны. Дано описание разработанного графического метода расчета искусственной кавитации.

Ключевые слова: судовые льяльные воды, сепарация, кавитационная суперкаверна, границы кавитации, рабочая камера сепаратора.

Введение. В условиях эксплуатации водного транспорта в настоящее время выработалась четкая тенденция к повышению мощностей судовых энергетических установок (СЭУ) с одновременным снижением энергетических ресурсов, затрачиваемых на работу судна. Используются различные схемы регенерации тепла, применяются новые конструкции судовых дизелей и задействуются нетрадиционные источники энергетических ресурсов к одному из которых можно отнести судовые льяльные воды – смесь воды с концентрированными продуктами нефтехимии. При работе судов они являются наиболее многотоннажным видом отходов и согласно регламентирующим требованиям, все суда должны оборудоваться сепараторами судовых льяльных вод. Выходная концентрация примесей в очищенной воде должна составлять менее 15 мг/л. В ряде особых районов планеты сброс судовых льяльных вод за борт вообще запрещен.

Проблема сепарации судовых льяльных вод очень актуальна и с экологической точки зрения, а их переработка строго регламентируется основным нормативным документом – требованиями MARPOL 73/78. Если рассматривать экономический аспект проблемы сепарации судовых льяльных вод то можно констатировать, что при использовании получаемых в ходе их переработки продуктов нефтехимии может достигаться экономия сопоставимая с заработной платой экипажа судна.

Цель статьи. Целью статьи является описание новых результатов по использованию технологии обработки судовых льяльных вод. Получаемые на выходе нефтепродукты могут рассматриваться как дополнительный энергетический источник для СЭУ. Переработка судовых льяльных вод напрямую приведет к повышению не только экономических показателей работы судна, но и повлияет на качество его эксплуатации. В этом случае возможно повышение суммарного КПД СЭУ и сведение к допустимым нормам экологического загрязнения водного бассейна в районе плавания судна.

Постановка проблемы. В ходе проводимых исследований было установлено, что процесс сепарирования судовых льяльных связан с одновременным решением двух научных проблем. К первой проблеме относится уменьшение количества вредных стоков, возникающих при работе судов водного транспорта. Ко второй проблеме относится разработка новой технологии для рентабельного получения вторичных энергетических ресурсов в условиях работы судна.

Основной и принципиальный недостаток всех существующих технологий сепарации судовых льяльных вод заключается в невозможности сбора и последующей переработки получаемой высококонцентрированной смеси нефтепродуктов. Конечным продуктом всегда является только очищенная вода. Решение этой проблемы в аспекте раздельного получения воды и нефтепродуктов может кардинальным образом повлиять на сокращение объемов используемых природных ресурсов и повысить качество контроля за состоянием экологии и биосферы в планетарном масштабе.



На актуальность и необходимость решения рассматриваемой проблемы сепарации СЛВ также указывает ряд международных соглашений, национальных программ и нормативных правительственных документов. К основному перечню таких документов относятся: Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях, MARPOL 73/78, Закон України «Про Основні засади державної екологічної політики України на період до 2020 року».

Постановка задачі. Метод кавитационной сепарации СЛВ разработан недавно и он основывается на использовании принципа холодного кипения потока за счет низкой величины его давления в локально выделенной области пространства рабочей камеры сепарационной установки. Схематическое изображение рабочего процесса показано на рисунке 1, а сам метод должен использоваться для чисел кавитации не превышающих величину $Q=0,3$.

Принцип работы кавитационного сепаратора судовых льяльных вод базируется на фазовом переходе водной составляющей под воздействием на обрабатываемый многофазный поток кавитационного поля в пределах значений температуры от 20 до 70 °С. Процесс такого фазового перехода является регулируемым, а сама кавитация может создаваться двумя способами – гидромеханическим и ультразвуковым. Гидромеханическая кавитация в свою очередь может возникать при реализации двух физических процессов:

– за счет повышения скорости движения потока судовых льяльных вод с соответствующим падением давления. Такой процесс характеризуется малыми значениями чисел кавитации ($Q < 0,2$);

– путем искусственного вдува потока газа, чаще всего воздуха в движущийся поток. Такой процесс характеризуется повышенными значениями чисел кавитации ($0,18 < Q < 0,34$).

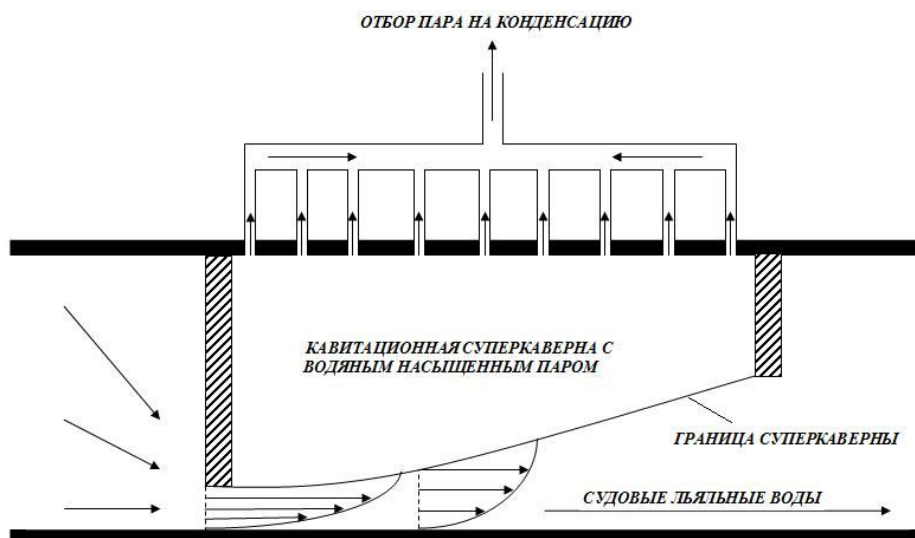


Рисунок 1 – Схема кавитационной очистки судовых льяльных вод

Все существующие технологии сепарации судовых льяльных вод предназначены для очистки воды от примесей и не позволяют выполнять сбор концентрированных остатков нефтепродуктов на выходе из сепаратора. Единственной альтернативой может выступать разработанный метод кавитационной сепарации, позволяющий получать очищенную воду с концентрацией примесей менее 15 мг/л.

В силу новизны метода многие аспекты его практической реализации остаются до сих пор не исследованными. В основном все нерешенные вопросы связаны с созданием и поддержанием на устойчивом уровне границ суперкавитационной каверны при наименьших затратах энергии, как на создание ультразвукового поля, так и на



поддержание высоких значений скорости движения обрабатываемого потока. Дополнительную сложность добавляет отбор сепарируемого водяного насыщенного пара из каверны в силу чего ее динамическое поведение всегда характеризуется нестационарным характером и пространственным колебанием ее внешних границ.

В качестве наиболее рационального решения при проведении предварительных исследований был рассмотрен комбинированный способ создания и последующего управления границами суперкавитационной каверны. На первоначальной стадии использование ультразвукового источника волн пониженного давления приведет к получению первой стадии кавитации, а дальнейшая вентиляция (принудительный вдув воздуха) каверны позволит вывести ее на режим суперкавитации.

Анализ получаемой внутри рабочей камеры сепаратора зоны устойчивой суперкавитационной каверны может осуществляться при помощи экспериментальных данных работы [6]. Входная разделительная пластина рабочей камеры сепаратора (рис. 1) может рассматриваться, как поворотный затвор в вертикальном положении. Пример такого затвора показан на рисунке 2, а графическое отображение границ зоны устойчивой кавитации за клапанами дискового, шарового и пробкового типа в зависимости от степени их открытия показано на рисунке 3.

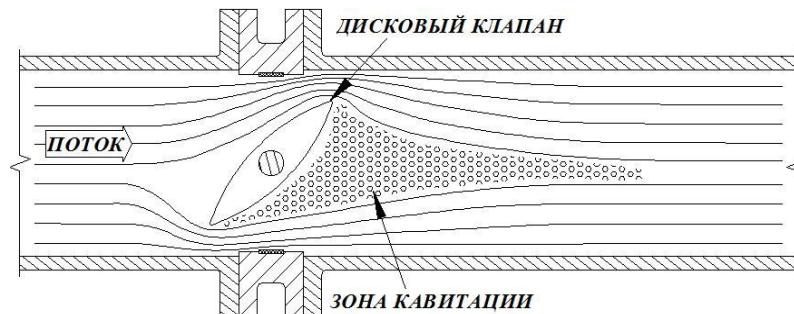


Рисунок 2 – Поворотный затвор [6]

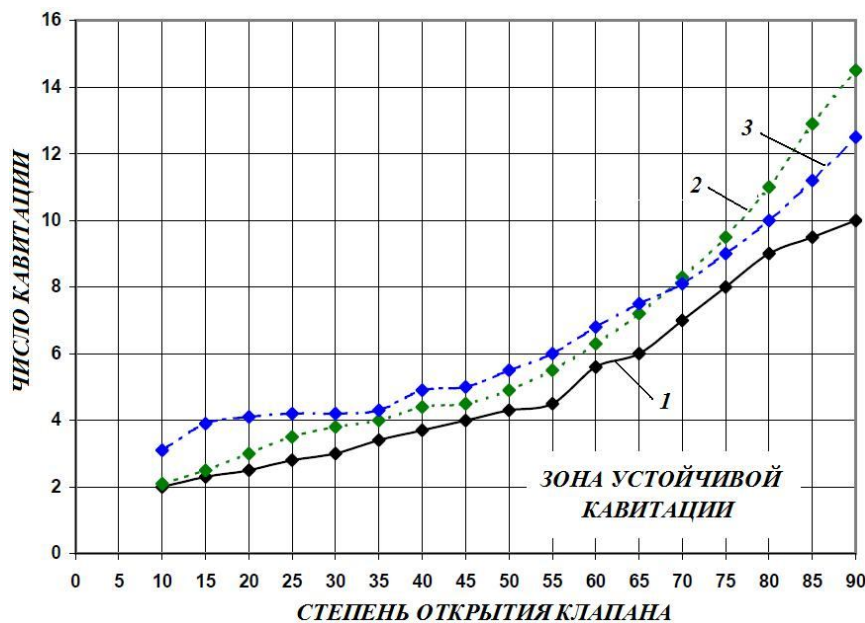


Рисунок 3 – Характеристики зоны устойчивой кавитации за клапанами [6]:
1 – пробковый кран; 2 – дисковый клапан; 3 – шаровый клапан

Анализ графика показывает, что вне зависимости от конструкции клапана и его геометрического положения по отношению к стенкам трубопровода верхняя граница зоны устойчивой кавитации соответствует числу кавитации равному $\Omega=2$. Эта величина при проведении дальнейших исследований должна ограничивать скоростной диапазон движения потока судовых льяльных вод на входе в рабочую камеру кавитатора.



Основные результаты исследований. В ходе исследований особое внимание было уделено вопросу о динамике поведения и месте ввода воздуха, подаваемого на искусственную вентиляцию каверны. В случае, когда скорость воздуха превысит величину, рассчитываемую по выражению (1) вдуваемый воздух сможет преодолеть величину давления движущегося потока судовых льяльных вод и разрушать границу суперкаверны.

$$V_B > V_{\text{СЛВ}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{СЛВ}}}{\rho_B} (1 + \Omega)}, \quad (1)$$

где Ω – число кавитации; $\rho_{\text{СЛВ}}$ и $V_{\text{СЛВ}}$ – плотность и скорость потока судовых льяльных вод; ρ_B и V_B , –плотность и скорость вдуваемого воздуха.

На основании анализа результатов работ работ [1-5] был сделан вывод, что оптимальным местом ввода воздуха на создание и последующую вентиляцию каверны должна быть не вершина входной разделительной пластины, а ее основание. Известно, что в угловых зонах как вверх, так и вниз по потоку всегда образуются застойные вихревые зоны. При принудительном вдуве воздуха каверна будет устойчиво расти и поддерживаться в своих пространственных размерах без срыва потока с верхней кромки пластины.

Срыв потока судовых льяльных вод с разрушением кавитационной каверны также будет неизменно приводить к пульсирующему характеру процесса сепарации. Устранение таких пульсаций возможно достичь путем уменьшения скорости движения судовых льяльных вод либо за счет вентиляции каверны. В этом случае число кавитации может быть смещено в область более высоких значений. Преимущество искусственной вентиляции каверны при обработке судовых льяльных вод наглядно демонстрируется полученным экспериментальным путем графиком, представленном на рисунке 4. На нем видно, что при переходе на меньшие скорости (с ростом числа кавитации) входа потока в сепаратор величина давления парообразования повышается. Приведенные экспериментальные результаты были получены для потока воды, движущегося в цилиндрическом трубопроводе при температуре нагрева 60°C .

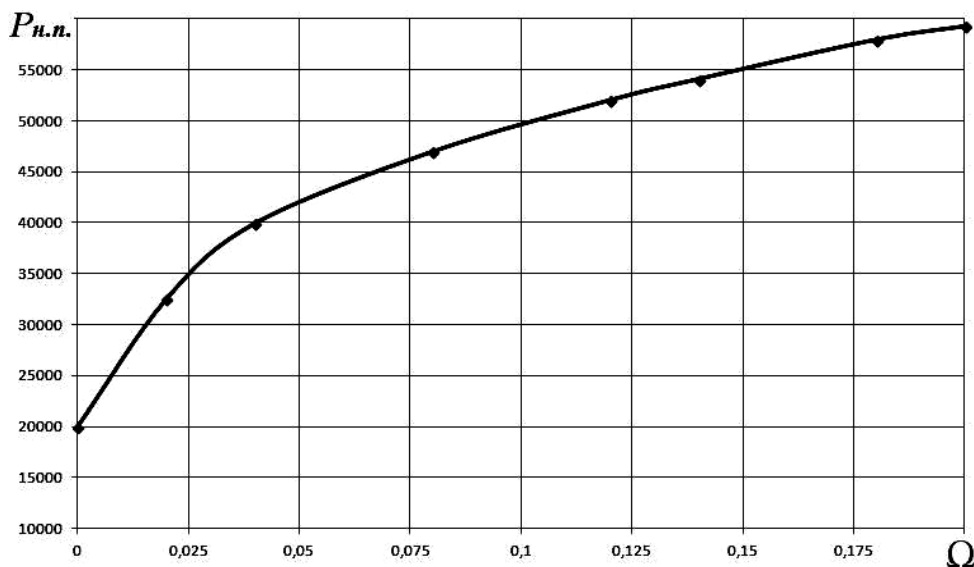


Рисунок 4 – Зависимость давления кипения от числа кавитации

В ходе проведения исследований для искусственной вентиляции кавитационной каверны был разработан графический метод расчета. Вычисления производились для кавитационных режимов, при которых геометрическая конфигурация суперкаверны между двумя разделительными пластинами рабочего канала судового сепаратора льяльных вод представляет собой трапецию. Ее стороны соответствовали высотам



разделительных пластин и расстоянию между ними. Общая расчетная схема такой каверны соответствует рис. 1.

Согласно данным работы [1] величина коэффициента сопротивления насадка в диапазоне малых чисел кавитации, соответствующих развитой каверне не зависит от его формы. По этой причине была принята гипотеза, что коэффициент сопротивления входной разделительной пластины при возникновении за ней суперкавитации подчиняется зависимости, аналогичной диску или шару. Подтверждение этой гипотезы частично присутствует в полученных экспериментальных данных, когда для чисел кавитации $\Omega > 0,1$ коэффициент сопротивления одиночной пластины попадал в зону автомодельности и был равен $C_x = 0,918$. В этом случае можно принимать, что динамический напор входящего в рабочую камеру потока судовых льяльных вод передается входной пластине в виде сопротивления

$$F_x = C_x \frac{\rho V^2}{2} S_{ex} \quad (2)$$

где S_{ex} – площадь входной пластины.

При таком динамическом взаимодействии можно считать, что вся кинетическая энергия движущегося потока переходит в потенциальную энергию. Такой переход происходит в сечении, расположенном сразу за входной пластиной рабочей камеры кавитационного канала. Это сечение должно всегда соответствовать максимальному миделевому сечению зоны суперкавитации. В этом случае можно записать равенство

$$F_x = f_1 (P_{ex} - P_{н.п.}) S_{ex} \quad (3)$$

Из (3) следует, что

$$C_x = f_1 \Omega \quad (4)$$

Коэффициент f_1 можно принимать равным значениям из диапазона от 0,7 до 0,8. Его более высокие значения должны соответствовать малым числам кавитации (от 0,1 до 0,3) и наоборот.

Коэффициент расхода воздуха, подаваемого на вентиляцию каверны оценивался в зависимости от способа создания каверны. В случае, если каверна создается только путем вдува воздуха он может рассчитываться по аналогии с кавитационным обтеканием пластины по эмпирической формуле из работы [1].

$$Q' = \frac{4,47 \sqrt{2 - \frac{\Omega Fr_d^2}{H}}}{Fr_d^2 (Fr_d - 1,35) \Omega^{1,75} (\Omega^3 Fr_d^4 - 1,955)^{1,25}}, \quad (5)$$

где Fr_d – число Фруда, рассчитываемое по выходному диаметру d (от 1 до 2 мм) воздушных сопловых направляющих аппаратов ($Fr_d = \frac{V^2}{gd}$); H – относительная (нормированная на высоту рабочей камеры) высота пластины.

Зависимость числа Фруда Fr_d от числа кавитации Ω для набора значений скорости потока на входе в рабочую камеру кавитатора от 2 до 15 м/с показана на рисунке 5.

На рисунке 6 показана зависимость между коэффициентом расхода воздуха, подаваемого на вентиляцию каверны и числом кавитации обрабатываемого потока судовых льяльных вод. Полученный результат полностью соответствует экспериментальным наблюдениям – рост скорости потока выражающийся в падении числа кавитации приводил к увеличению количества воздуха, которое необходимо подавать на вентиляцию каверны. Рабочие значения чисел кавитации от 0,01 до 0,025



соответствуют количеству подаваемого воздуха в диапазоне от 13 до 0,1 % от объема возникающей кавитационной каверны.

При разработке метода графического определения параметров кавитирующего потока при искусственной вентиляции каверны принималось, что каверна имеет форму прямоугольной трапеции, объем которой определяется как

$$W = \Delta \left(\frac{H + h}{2} \right) L. \quad (6)$$

Число Фруда, определенное по объему кавитационной суперкаверны W и скорости обрабатываемого потока судовых льяльных вод рассчитывалось по формуле

$$Fr_w = \frac{V}{\sqrt{g^3 W}} \quad (7)$$

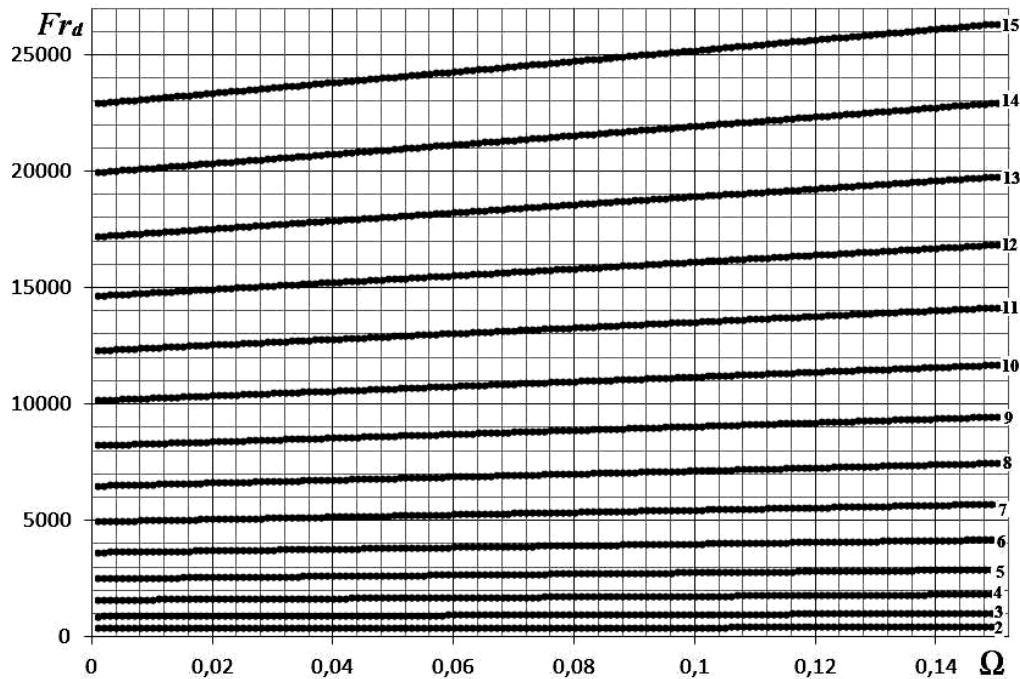


Рисунок 4 – Зависимость числа Фруда Fr_d от числа кавитации Ω при $V_{ex} = 2 - 15$ м/с

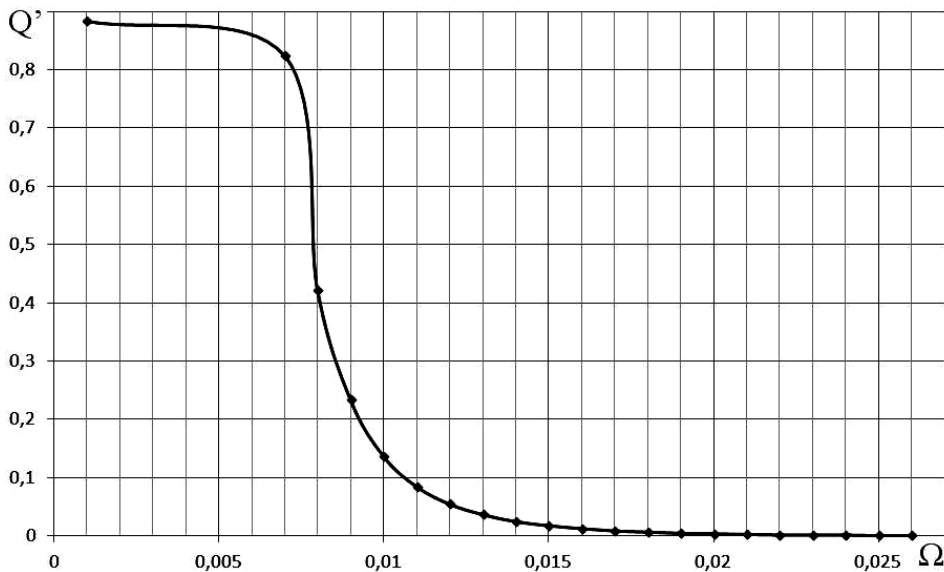


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента расхода воздуха Q' от числа кавитации Ω



Связь между числом Фруда, рассчитанным по объему каверны и по размеру входной пластины Fr_H , находилась по выражению

$$Fr_H = 1,09 \left(\sqrt[6]{\frac{\Omega^2}{1 + \Omega^2}} \right) Fr_W . \quad (8)$$

На рисунке 6 показана зависимость между числами Фруда, рассчитанными соответственно по объему кавитационной каверны и по относительному размеру входной разделительной пластины H . Расчет был выполнен для $H=0,75$, т.е. для степени перекрытия потока на входе равной 75 %. Все результаты, полученные при построении графиков соответствуют диапазону изменения чисел кавитации обрабатываемого потока от $\Omega=0,001$ до $\Omega=0,15$. Каждая серия расчетных значений соответствует определенной величине скорости потока на входе в рабочую камеру кавитационного канала, значения которой лежат в диапазоне от 2 до 15 м/с.

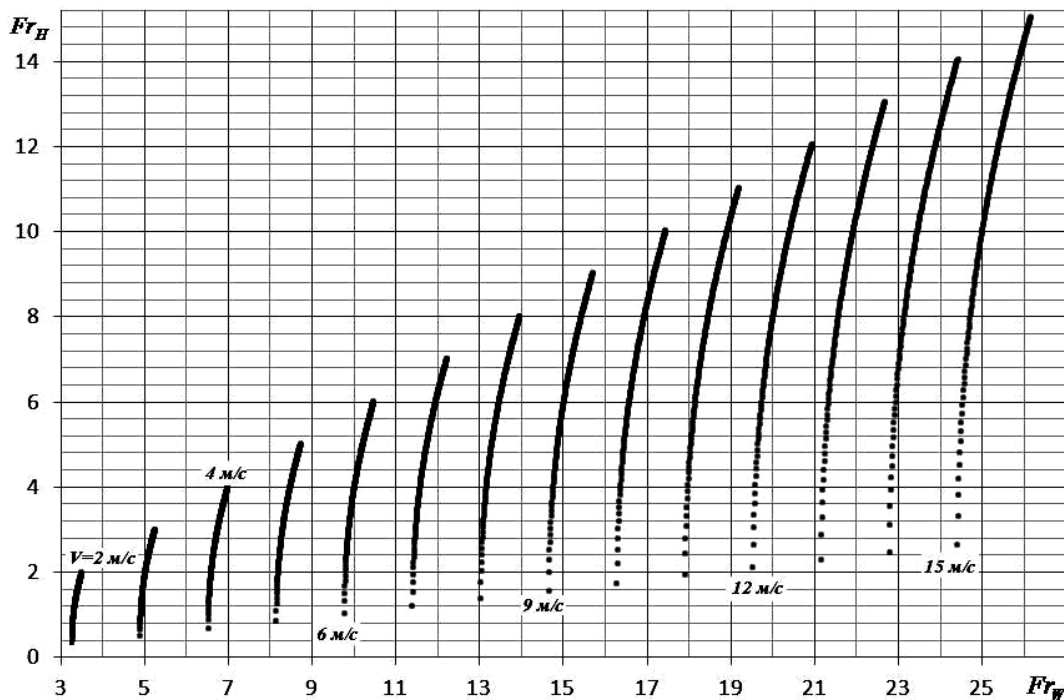


Рисунок 6 – Зависимость Fr_W от Fr_H при $V_{ex} = 2 - 15$ м/с

Использование в практических целях разработанного метода графического расчета основывается на том, расчет рабочих характеристик процесса суперкавитационной сепарации должен сводиться к определению кавитационных и гидродинамических характеристик основного элемента рабочей камеры - входной разделительной пластины.

Алгоритм расчета процесса сепарации на основе приведенных графических зависимостей включает в себя выполнение следующих операций:

1. Задается степень перекрытия потока на входе в сепаратор путем набора значений высоты входной разделительной пластины.

На этом этапе степень перекрытия потока должна изменяться от 60 до 70 % с шагом изменения высоты пластины от 0,5 до 1 %.

2. Задаются скорость обрабатываемого потока судовых льяльных вод и размеры рабочей камеры сепарационной установки. После этого для всего набора данных с использованием приведенных выше выражений находятся числа Фруда Fr_H , Fr_W .

3. С использованием метода последовательных приближений для всего ряда геометрических размеров определяются характеристики пластины:

- задается ряд значений коэффициента расхода воздуха Q' ;



– по диаграмме (рис. 5) находятся соответствующие числа кавитации;

4. С учетом ранее полученного набора значений площади входной разделительной пластины по выражению

$$Q = Q'VS \quad (9)$$

определяется расход воздуха, подаваемого на вентиляцию каверны.

5. После анализа размеров подводящих трубопроводов и воздухопроводов системы сепарации, а также рабочих характеристик нагнетательного оборудования, используемого в контуре обработки судовых льяльных вод выбираются:

– рабочее значение коэффициента расхода воздуха Q' ,

– число кавитации, которое необходимо поддерживать в ходе процесса сепарации судовых льяльных вод;

– высота входной разделительной пластины.

6. Для выбранных значений производится оценка размеров кавитационной суперкаверны внутри рабочей камеры сепарационной установки по выражениям [1]

$$\frac{H_{\max}}{H} = \sqrt{\frac{C_x(1 + \Omega)}{k\Omega}} \quad (10)$$

$$\frac{L}{H} = \frac{1,667}{\Omega} \quad (11)$$

7. При сопоставлении полученных размеров кавитационной суперкаверны с рабочей областью между входной и выходной разделительными пластинами рабочей камеры сепаратора в первом приближении будет получено расхождение. В большинстве случаев размеры рабочей области камеры будут меньше размеров суперкаверны, что указывает на неполноту использования процесса суперкавитации при испарении водной фазы из обрабатываемого потока судовых льяльных вод.

8. Выполняются уточняющие расчеты во втором приближении. Целью таких расчетов является корректировка размеров кавитационной суперкаверны с учетом обеспечения минимального отклонения размеров внешней границы каверны (ее выпуклости) от линии, соединяющей входную и выходную разделительные пластины.

Выводы:

1. Все существующие технологии сепарации судовых льяльных вод предназначены для очистки воды от примесей и не позволяют выполнять сбор концентрированных остатков нефтепродуктов на выходе из сепаратора. Единственной альтернативой может выступать разработанный метод кавитационной сепарации, позволяющий получать очищенную воду с концентрацией примесей менее 15 мг/л.

2. Для большинства гидравлических конструкций верхняя граница зоны устойчивой кавитации соответствует числу кавитации равному $\Omega=2$ и эта величина при проведении исследований должна ограничивать скоростной диапазон движения потока судовых льяльных вод на входе в рабочую камеру кавитатора.

3. Искусственная вентиляция кавитирующего потока и режим ультразвуковой кавитации должны всегда использоваться в комбинации с регулированием скоростных характеристик обрабатываемого потока судовых льяльных вод.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Искусственная кавитация / [И. Т. Егоров, Ю. М. Садовников, И. И. Исаев, М. А. Басин]. – Ленинград : Судостроение, 1971. – 280 с.

2. Гогиш Л. В. Отрывные и кавитационные течения: основные свойства и расчетные модели / Л. В. Гогиш, Г. Ю. Степанов. –М. : Наука ; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 384 с.



3. Кнэпп Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хэммит. – М. : Мир, 1974.– 687 с.
4. Chen Y. Two-Phase Modeling of Cavitated Flows / Y. Chen, S. D. Heister // Computers and Fluids. – 1995. – Vol. 24, No. 7. – P. 799-809.
5. Yu S. T. Treatments of Stiff Source Terms in Conservation Laws by the Method of Space-Time Conservation Element and Solution Element / S. T. Yu, S. C. Chang // AIAA 97-0435. – 1997.
6. Rahmeyer William J. Test Procedures for Determining Cavitation Limits in Control Valves / Rahmeyer William J. // Journal AWWA. – November 1986. – P. 55-58.

Малахов О.В., Леонов В.В., Старостін С.М., Маслов В.А. СПЕЦИФІКА УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ БАГАТОФАЗНОГО ПОТОКУ ПРИ СЕПАРАЦІЇ

У статті розглянута технологія сепарації суднових ляльних вод за допомогою процесу суперкавітації. Розглянуті основні питання щодо управління межами кавітаційної каверни. Дано опис розробленого графічного методу розрахунку штучної кавітації.

Ключові слова: суднові ляльні води, сепарація, кавітаційна суперкаверна, межі кавітації, робоча камера сепаратора.

Malahov A.V., Leonov V.V., Starostin S.N., Maslov V.A. SPECIFICATION OF MULTYPHASE FLOW PARAMETERS CONTROL DURING THE SEPARATION

In the article a bilge separation technology is described with the help of supercavity process usage. There were considered main questions for cavity boundaries control. A description of newly developed graphical method for artificial cavity calculation was given.

Keywords: ship bilge, separation, cavitating supercavern, cavity boundaries, separator working chamber.



ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО ТЕЛА СУДОВЫХ ТУРБОАГРЕГАТОВ

Присянок В.В., Житаренко В.М.

Азовский морской институт Одесской национальной морской академии, г. Мариуполь

В работе приведена оценка возможности применения аккумулирования сжатого воздуха для использования в качестве рабочего тела судовых турбоагрегатов. Разработана схема энергетической установки судна с воздушной турбинной установкой, позволяющей до 80 % снизить выбросы CO₂ по сравнению с традиционными двигателями. Показан термодинамический процесс, протекающий в энергетической установке с воздушной турбинной установкой. Предложена методика расчёта удельного расхода воздуха и объёма баллонов для обеспечения запланированной автономности плавания. Определён диапазон применения пневматического аккумулирования на судах. Произведён расчёт КПД установки и определены пути возможного его повышения.

Ключевые слова: выбросы парниковых газов, пневматическое аккумулирование, воздушная турбинная установка, судоходство.

Введение. Международное судоходство является причиной около 3 % мировых объёмов выбросов парниковых газов, и, по данным ИМО, эта доля может увеличиться до 18 % к 2050 г. Евросоюз пригрозил ввести свои собственные ограничения в правила судоходства, если ИМО не в состоянии сделать это самостоятельно. В июле 2011 г. 48 стран проголосовали за принятие обязательного расчётного показателя энергоэффективности (EEDI) для новых судов и плана внедрения EEDI для всех судов [1].

Евросоюз ради предотвращения климатических изменений намерен предложить мировому сообществу сократить к 2020 г. на 10 % (к уровню 2005 г.) выброс углекислого газа самолётами авиакомпаний и на 20 % – морским транспортом [2].

Актуальность исследования. С целью решения проблемы уменьшения выбросов парниковых газов, в судоходстве, предпринимаются различные технические решения.

Наиболее перспективным считается постройка судов, использующая в качестве топлива гидрат природного газа. Он считается более экологически безопасной формой энергии для морской перевозки по сравнению с бункерным горючим и даже сжиженным природным газом (СПГ). Гидрат природного газа является твёрдым веществом, которое легче перевозить по сравнению с СПГ, а также выделяет меньше углекислого газа [3]. Применение данного вида топлива, однако, не полностью решает проблему выбросов парниковых газов и для полного перехода на данный вид топлива необходимо решить ещё много технических проблем.

Японская фирма MOL спустила на воду автомобилевоз Emerald Ace, способный сократить выброс CO₂ на 41 % по сравнению с существующими типами. Судно имеет большое количество солнечных батарей, благодаря которым предусмотрено обеспечение нулевых выбросов во время стоянки в порту [4]. Применения солнечной энергии в качестве дополнительного источника энергии, несомненно, будет развиваться, но полностью заменить органическое топливо пока вряд ли удастся.

В связи с недавними событиями на атомных станциях в Японии страны Евросоюза и другие развитые страны не приемлют суда, заходящие в их порты с атомной энергетической установкой. В своих водах они хотят видеть суда с экологическими и безопасными энергетическими установками.

Как и другие технологии, не использующие сжигание топлива, использование транспортных средств на сжатом воздухе позволяет уменьшить выбросы через выхлопные трубы, или переместить их на централизованные электростанции или вообще на ветроэлектростанции [5], что значительно уменьшает и облегчает процесс утилизации этих выбросов. В настоящее время во всём мире ведутся работы по применению сжатого



воздуха на транспорте. Например, команда MDI продолжает работу над усовершенствованием двигателя на сжатом воздухе. Полноценным серийным пневмомобилем стал проект OneCat. В лёгких и безопасных карбоновых баллонах под давлением в 300 бар может храниться до 300 литров сжатого воздуха с запасом хода 150 км [6]. Первым морским транспортом на сжатом воздухе была военная субмарина. 6 апреля 1863 г. была спущена на воду французская подводная лодка «Plongeur» [7]. Это была самая большая подводная лодка XIX века, первая в мире субмарина, которая имела механический привод гребного винта, мощность 80 л.с. (60 кВт) и автономностью плавания 9 км. Несмотря на то, что первые попытки оснастить морской транспорт двигателем, работающим на сжатом воздухе, предпринимались ещё в начале позапрошлого века, дальше нескольких прототипов дело до сих пор не заходило.

Целью представленной статьи является продолжение исследования применения аккумулирования энергии сжатого воздуха, в качестве рабочего тела судовых турбоагрегатов, для уменьшения выбросов парниковых газов в судоходстве.

Основная часть. Системы пневматического аккумулирования для водных транспортных средств ограничиваются применением короткого времени транспортировки и очень высокой мощностью разряда. Однако системы аккумулирования со скользящими параметрами могут иметь превосходство над электрическими и механическими системами. В системах привода движителя от пневматического аккумулятора воздух и бака основного запаса (БОЗ) с давлением до 50 МПа редуцируется до рабочего давления 0,3÷1,4 МПа в расходный баллон (РВ) и поступает в воздушную турбинную установку (ВТУ), где расширяется до атмосферного давления. Если температура воздуха перед ВТУ равна температуре окружающей среды (около 20÷30 °С) то в проточной части температура понижается, ниже точки росы и наблюдается выпадение влаги, а в некоторых случаях – обмерзание. Для повышения удельной мощности установки и предотвращения выпадения влаги необходимо подогреть воздух перед ВТУ. Осуществить это можно несколькими способами:

- подогрев за счёт утилизации теплоты, например выхлопными газами ДВС;
- подогрев за счёт теплоты окружающего воздуха или забортной воды;
- подогрев на береговой заправочной станции с последующим хранением в теплоизолированных баках.

Параметры воздуха при различных вариантах подготовки без учёта охлаждения, которое возможно при редуцировании представлены в табл. 1.

Таблица 1–Характеристика вариантов подготовки сжатого воздуха

<i>Вариант</i>	<i>Давление и температура в баке основного запаса</i>	<i>Давление и температура в расходном баке</i>	<i>Температура за ВТУ, К</i>	<i>Удельная мощность, кДж/кг</i>
Без подогрева	300бар 300К	3бар 300К	240К	60
С «горячим» запасом	300бар 420К	3бар 420К	280К	140
Подогрев выхлопными газами	300бар 300К	3бар 500К	290К	210
С «горячим» запасом и подогревом выхлопными газами	300бар 420К	3бар 620К	300К	320

Анализ результатов таблицы показывает, что работа ВТУ на холодном запасе не работоспособна, так как в процессе расширения температура воздуха приобретает отрицательное значение, соответственно произойдёт обмерзание корпуса турбины. Применение «горячего» запаса и подогрева позволяет повысить температуру воздуха перед ВТУ в пределах необходимых для обеспечения в конце процесса температуры близкой к окружающей среде и обеспечить минимальные потери.



На рис. 1 представлений термодинамічний цикл ВТУ з «горячим» запасом і підогревом вихлопними газами ДВС.

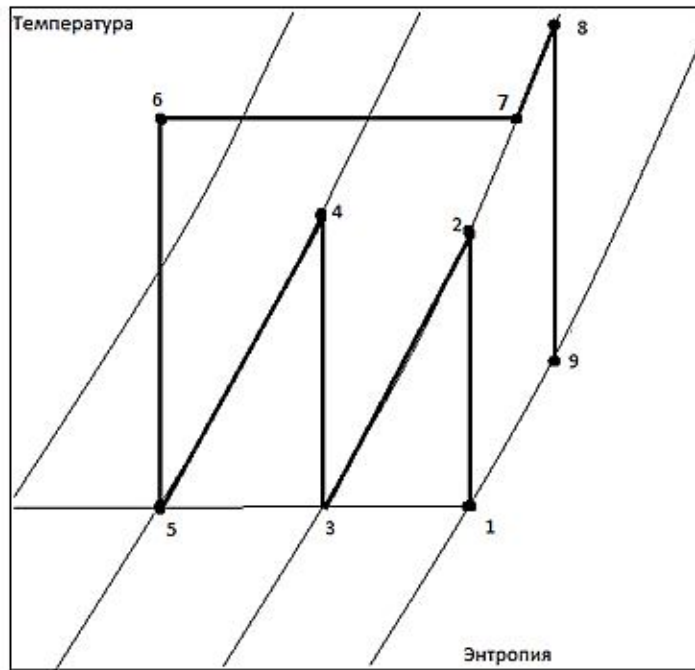


Рисунок 1 – Термодинамічний цикл ВТУ:

процес 1-2, 3-4, 5-6 – стиснення повітря в ступенях компресора, 2-3, 4-5 – проміжне охолодження, 6-7 – редуціювання, 7-8 – підігрів, 8-9 – розширення в ВТУ

Розроблена нами схема судової енергетическої установки (СЗУ) з ВТУ використовуюча пневматическе акумулювання представлена на рис. 2.

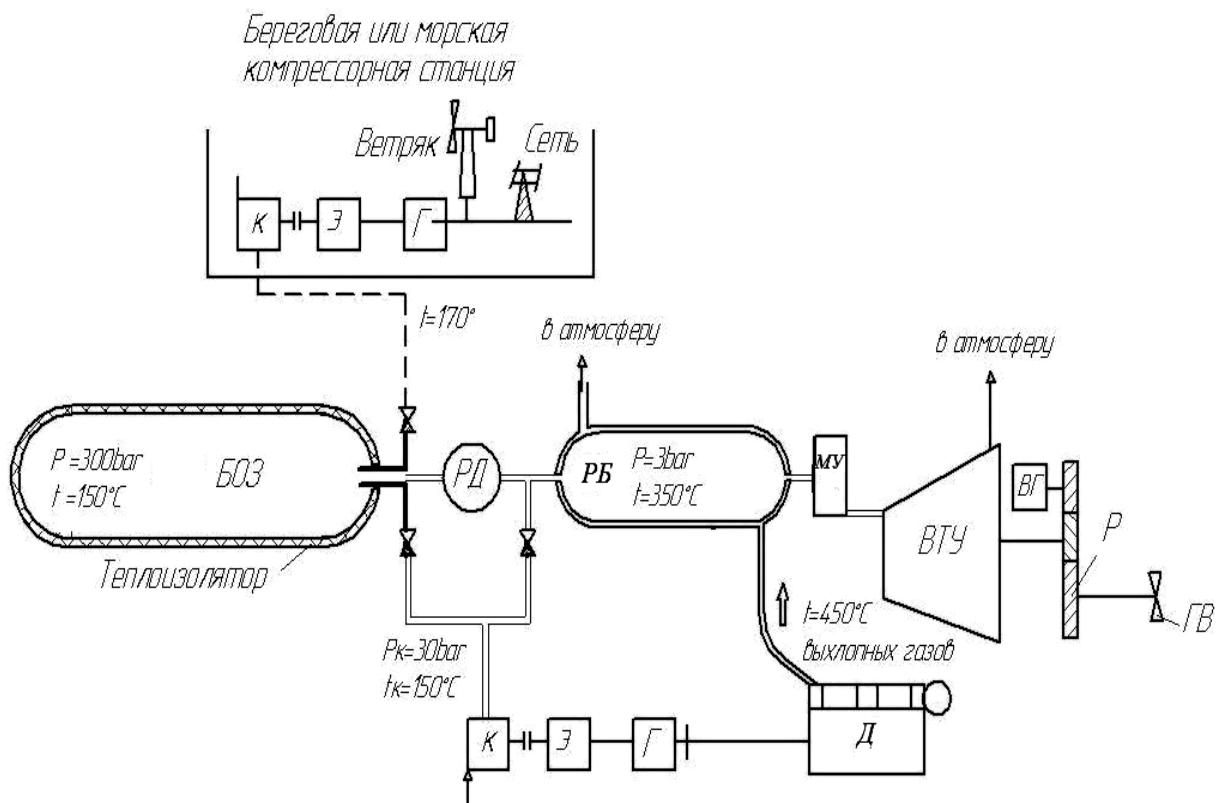


Рисунок 2 – СЗУ з повітряною турбінною установкою



С береговой или водной компрессорной станции закачивается горячий сжатый воздух в бак основного запаса БОЗ. Для уменьшения потерь тепла БОЗ теплоизолирован. Далее воздух поступает в расходный баллон (РБ) через редуктор давления (РД) который уменьшает давление до необходимого значения. Воздух в расходном баллоне подогревается выпускными газами работающего вспомогательного дизеля (Д). С помощью манёврового устройства (МУ) в зависимости от режима устанавливается необходимый расход воздуха на многоступенчатую турбину. В результате расширения воздуха турбина вращается с необходимой скоростью заданной МУ. Далее через понижающий редуктор (Р) приводится во вращение гребной винт (ГВ) для движения судна и валогенератор (ВГ) для производства электроэнергии. В СЭУ предусмотрено возможность пополнения сжатого воздуха при аварийных утечках или когда воздух в БОЗ запаса потерял необходимые рабочие параметры. С помощью компрессора (К) работающего от электродвигателя (Э) от электроэнергии вырабатываемой генератором (Г) дизеля (Д) можно поддерживать минимальный уровень расхода воздуха для перемещения судна до заправочной станции.

На наш взгляд имеются некоторые преимущества применения СЭУ с ВТУ в сравнении с традиционными двигателями. Прежде всего, это существенное сокращение выбросов углекислого газа других парниковых газов. Более высокая надёжность, чем в газовых турбинных установках (ГТУ) в связи с меньшими температурами на лопатках турбины. Повышенная пожарная безопасность судна, меньший шум в сравнении с дизельными двигателями и ГТУ. Меньшее время ввода в режим эксплуатационной загрузки в сравнении с дизельными двигателями и паровыми турбинными установками (ПТУ). Существует возможность применения альтернативных видов энергии для аккумулирования воздуха, например ветрогенераторов, солнечных батарей и т.д.

Диапазон применения СЭУ с ВТУ ограничен малой автономностью плавания и небольшими мощностями двигательной установки. Тем не менее, это суда которые могут работать портовых акваториях, на реках, каналах, где существуют повышенные требования к выбросам. Это, например паромные суда, пассажирские катера, речные трамваи, суда экологического направления, служебные суда, буксиры, плавучие краны.

Для оценки возможности применения сжатого воздуха в качестве рабочего тела необходимо определить удельный расход воздуха и объем БОЗ для обеспечения запланированной автономности плавания.

Приняты следующие данные для расчёта: автономность плавания – 100 миль; скорость судна – 20 узлов; мощность главной установки – 1000 кВт; давление в БОЗ – 30 МПа; температура воздуха в БОЗ – 150°C; объем РБ – 0,75 м³; объем проточной части турбины – 1 м³; давление перед турбиной – 0,3 МПа; температура воздуха перед турбиной – 350°C; температура воздуха за турбиной – 25°C; давление на выходе из турбины – 0,11 МПа.

Для определения расхода воздуха принимаем для расчёта зависимость, используемую в паротурбинных установках [8]. Мощность агрегата равна произведению энергии 1 кг пара умноженной на секундный расход G , кг/с и на КПД агрегата η_{et} :

$$N_{et} = G \cdot H_o \cdot \eta_{et}, \text{кВт}. \quad (1)$$

Адаптируем данную формулу для наших условий. Расход пара заменяем на расход сжатого воздуха. Работу расширения пара H_o , кДж/кг принимаем равной работе расширения сжатого воздуха H_g , кДж/кг. Эффективный КПД $\eta_{et} = 0,7$ принимаем как у ПТУ, 1 Вт = 1 Дж/с.

Мощность ВТУ равна произведению энергии килограмма сжатого воздуха умноженной на секундный расход воздуха (кг/с) КПД агрегата η_{et} :

$$N_{etg} = G_g \cdot H_g \cdot \eta_{et}, \text{кВт}. \quad (2)$$



Ввиду сложности определения, удельную работу воздуха H_e принимаем как параметр у прототипа, работающего в схожем диапазоне давлений и температуры [9]. Удельная работа сжатого воздуха локомотива составляла 10000 кДж/м³.

Откуда секундный расход воздуха равен:

$$G_e = \frac{N_{etb}}{H_e \cdot \eta_{et}}, \text{ кг/с.} \quad (3)$$

По результатам расчёта секундный расход рабочего тела (сжатый сухой воздух) для нашего случая будет равен 0,14 м³/с, а часовой расход рабочего тела $b_e=504\text{м}^3/\text{ч}$.

Сравнивая с данными исследования [10] турбины Tesla работающей на сжатом воздухе мощность 500 Вт в приводе генератора (35 г/сек), мы имеем меньший расход воздуха на единицу мощности в связи с подогревом воздуха выхлопными газами перед турбиной.

Второй этап расчёта это определение необходимого объёма баллонов.

Количество воздуха затраченного на автономное плавание можно определить по формуле:

$$M = \frac{b_e \cdot L}{c}, \text{ кг,} \quad (4)$$

где L – автономность, миль, c – скорость судна, миль/ч.

При переходе судна с мощностью турбины равной 1000 кВт расстояния 100 миль скоростью 20 миль/час расход сжатого воздуха составит 2610 кг или ориентировочно на выходе из турбины расход воздуха составит 3085 м³.

По закону Бойля-Гей-Люссака ориентировочный объём БОЗ (без учёта потерь при дросселировании, расширении и т.д.) можно определить:

$$v_0 = \frac{P \cdot V \cdot T_0}{P_0 \cdot T}, \text{ м}^3, \quad (5)$$

где P – давление на выходе из турбины; P_0 – давление в БОЗ; T_0 – температура воздуха в БОЗ; T – температура воздуха за турбиной.

Согласно расчёту объём БОЗ будет равен 17,95 м³. По формуле объёма цилиндра это баллон с радиусом 0,8 м и длиной 8 м.

На рис. 3 представлена зависимость объёма БОЗ от мощности для принятых нами данных для расчёта. В качестве источника данных взяты мощности ряда двигателей фирмы MAN [13].

Анализ данных графика позволяет сделать вывод, что применение СЭУ с ВТУ мощностью более 3000 кВт ограничено технологическими возможностями получения баллонов высокого давления ($r > 1,5\text{м}$) и уменьшения полезной площади судна в связи с их большими габаритными размерами.

Общий КПД СЭУ с ВТУ можно оценить как отношение работы расширения к работе сжатия:

$$\eta_{ВТУ} = \frac{L_{рас}}{L_{сж}} = \frac{m_{рас} \cdot R \cdot T_{1p} \cdot \left[1 - \pi_{рас}^{-m_{рас}}\right]}{m_{сж} \cdot R \cdot T_{1c} \cdot \left[\pi_{сж}^{m_{сж}} - 1\right]}, \quad (6)$$

где $L_{рас}$, $L_{сж}$ – работа сжатия и расширения; $\pi_{сж}$ – степень повышения давления при сжатии в компрессоре, T_{1c} – температура воздуха в начале процесса сжатия; T_{1p} – температура воздуха в начале процесса расширения; R – газовая постоянная воздуха; $\pi_{рас}$ –



степень пониження давления в турбине; $m_{сж} = \frac{n_c - 1}{n_c}$; n_c – показатель политропы при сжатии; $m_p = \frac{n_p - 1}{n_p}$; n_p – показатель политропы при расширении.

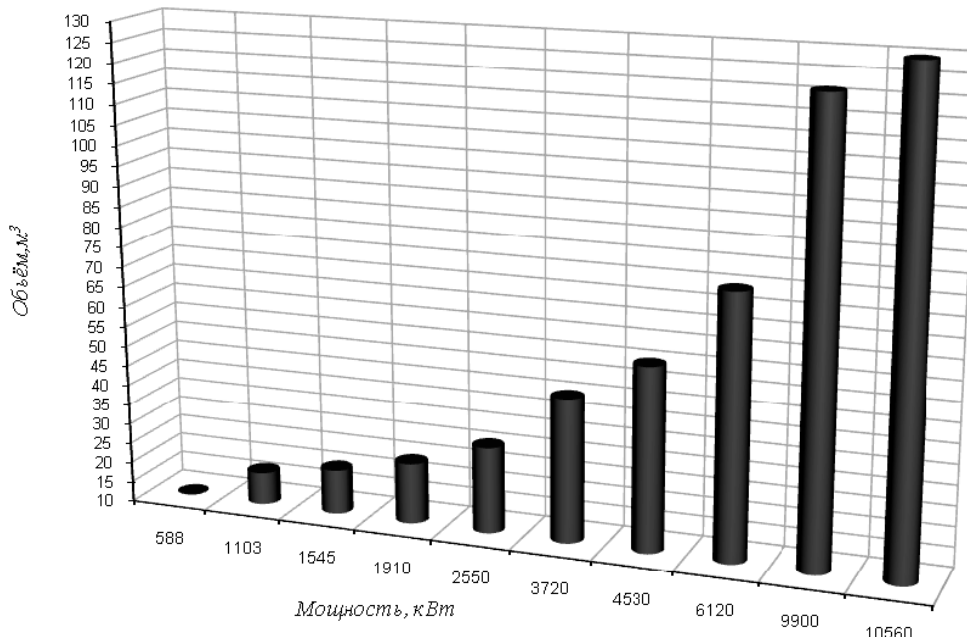


Рисунок 3 – Зависимость объёма баллонов основного запаса от мощности турбины

При многоступенчатом сжатии и одноступенчатом расширении с учётом КПД турбины η_m и КПД ступеней сжатия компрессора η_k формула (6) примет вид:

$$\eta_{ВТУ} = \frac{\eta_m \cdot m_{рас} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[1 - \pi_{рас}^{-m_{рас}} \right]}{\sum_1^n m_{сж} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\pi_{сж}^{m_{сж}} - 1 \right]} \cdot \frac{1}{\eta_k} \quad (7)$$

Значение КПД при 3-х ступенчатом сжатии с $\pi_{сж} = 6,7$; $m_{сж} = 0,285$; $m_{рас} = 0,166$; $\eta_m = \eta_k = 0,7$; $\pi_{рас} = 12$; $T_{1сж} = 300$ К; $T_{1р} = 300$ К; имеет довольно низкую величину – 11,5 %. Реальный КПД СЭУ с ВТУ будет ещё ниже с учётом потерь на различных стадиях (сжатие, хранение, дросселирование, расширение). Зависимость КПД от температуры и степени расширения воздуха в турбине показана на рис. 4.

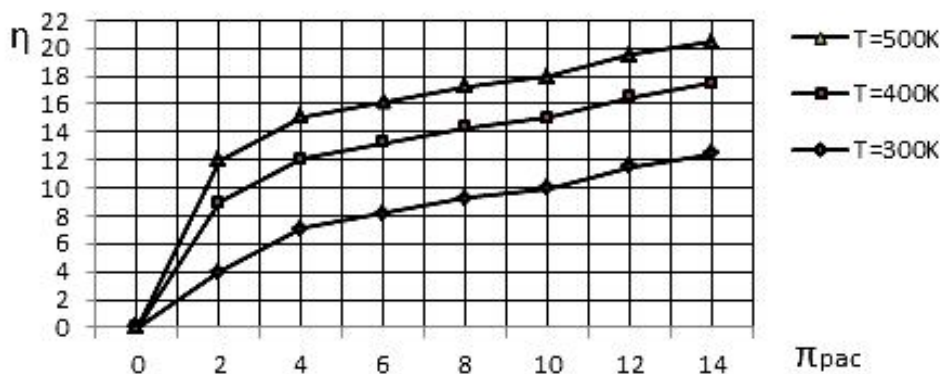


Рисунок 4 – График КПД СЭУ с ВТУ



Из вышеизложенного следует, что для повышения КПД СЭУ с ВТУ необходимо повышать температуру воздуха перед турбиной и увеличивать степень расширения $\pi_{рас}$. Однако следует отметить, что в данной энергетической установке затраты энергии на сжатие и охлаждение вынесены за пределы судна. На стационарной компрессорной станции есть возможность использовать альтернативные источники энергии, тепловое аккумулирование и другие способы уменьшения потерь. Очевидно, что в перспективе КПД СЭУ с ВТУ может достигнуть приемлемых значений.

Выводы:

1. При определённых условиях СЭУ с ВТУ может быть конкурентной двигательной установкой малых судов (дедвейт не более 5000 т.) с невысокой автономностью плавания (менее 150 миль), позволяющая на 70÷80 % снизить выбросы CO_2 по сравнению с традиционными двигателями.

2. Низкая эффективность СЭУ с ВТУ связана с большими затратами энергии при сжатии, охлаждении, нагреве рабочего тела.

3. Повышение КПД СЭУ с ВТУ до 30 % может быть достигнуто путём использования аккумулированной в процессе сжатия теплоты промежуточного охлаждения для нагрева рабочего тела.

Разработка судовых энергетических установок использующих альтернативные виды энергии с целью снижения выбросов выхлопных газов, несомненно, актуальна и перспективна. Применение пневматического аккумулирования в качестве рабочего тела пока ограничено рядом нерешённых технических проблем. Необходимо ещё много исследований и разработок, чтобы построить суда, работающие на сжатом воздухе, которые смогут сделать коренные изменения в выбросах углекислого газа в судоходстве, не жертвуя при этом необходимостью в практичности, оптимальной работе и ограниченных затратах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ЕС хочет ограничить выбросы углекислого газа в судоходстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cfts.org.ua/news/42683>.

2. DPD запускает программу по сокращению выбросов углекислого газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.trans-port.com.ua/index.php?newsid=37082>.

3. От судоверфей к морям: зелёные тенденции в судостроении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.flagmanshipping.com/fleetarticles/ot-sudoverfei-k-moryam-zelenye-tendentsii-v-sudost>.

4. MOL спускает на воду гибридный автомобилевоз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://maritimezone.com/news/mol-launches-emerald-ace/>.

5. Мокін Б. І. Екологічні та економічні аспекти створення повітряних акумулюючих електростанцій / Б. І. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 5. – С. 95-103.

6. Двигатель на сжатом воздухе для автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ecoconceptcars.ru/2011/01/blog-post_29.html.

7. «Plongeur» французская подводная лодка // Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Plongeur>.

8. Слободянюк Л. И. Судовые паровые и газовые турбины и их эксплуатация : учебник / Л. И. Слободянюк, В. И. Поляков. – Л. : Судостроение, 1983. – 360 с.

9. Бекман Г. Тепловое аккумулирование энергии / Г. Бекман, П. В. Гилли. – М. : Мир, 1987. – 277 с.

10. Дисковая турбина Н. Тесла с четырьмя соплами. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://teslatech.com.ua/index.php?option=com_content&view.

11. Судовой механик : справочник / Под. ред. А. А. Фока. – Одесса : Феникс, 2010. – Т. 1. – С. 393-1036.



Присянок В.В., Житаренко В.М. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПНЕВМАТИЧНОГО АКУМУЛЮВАННЯ В ЯКОСТІ РОБОЧОГО ТІЛА СУДНОВИХ ТУРБОАГРЕГАТІВ

У роботі наведено оцінку можливості застосування акумулювання стисненого повітря для використання в якості робочого тіла судових турбоагрегатів. Розроблена схема енергетичної установки судна з повітряною турбінною установкою, що дозволяє до 80 % знизити викиди CO₂ у порівнянні з традиційними двигунами. Показаний термодинамічний процес, що протікає в енергетичній установці з повітряною турбінною установкою. Запропонована методика розрахунку питомої витрати повітря й обсягу балонів для забезпечення запланованої автономності плавання. Визначений діапазон застосування пневматичного акумулювання на судах. Проведено розрахунок ККД установки і визначені шляхи можливого його підвищення.

Ключові слова: викиди парникових газів, пневматичне акумулювання, повітряна турбінна установка, суднопластво.

Prosyanok V.V., Zhitarenko V.M. THE ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF APPLICATION PNEUMATIC ACCUMULATION AS WORKING BODY OF THE SHIP'S TURBINE

In the work is presented the assessment of the application possibility of the compressed air accumulation for usage as a working body of the ship's turbine. The ship's power plant scheme with air turbine installation, which allows to reduce CO₂ emissions up to 80% using traditional engines is developed. The thermodynamic process, which takes place in the power plant with air turbine installation is shown. A procedure for calculation of the air flow rate and volume of cylinders to ensure the planned autonomy of sailing is proposed. The range of pneumatic accumulation on ships is defined. The efficiency of the plant is calculated and possible ways of its increase is identified.

Keywords: greenhouse gas emissions, pneumatic accumulation, air turbine installation, shipping.



УДК 656.61052.001.2

МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЛИНИИ. СПОСОБЫ НАНЕСЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЛИНИИ НА КАРТЕ МЕРКАТОРСКОЙ ПРОЕКЦИИ

Спешилов В.М.

Херсонская государственная морская академия

В статье предложена методика вычисления длины геодезической линии и способы прокладки этой линии на карте меркаторской проекции с помощью формул сферической тригонометрии, аргументом которых является приведенная сферическая широта начальной и конечной точек трансокеанского участка маршрута перехода судна. Конечной целью работы является повышение рентабельности морских грузоперевозок за счет экономии ходового времени на трансокеанском участке маршрута перехода судна.

Ключевые слова: дуга большого круга, геодезическая линия, приведенная сферическая широта точки.

Постановка проблемы и ее связь с практическими задачами.

Одним из важнейших условий безопасного мореплавания и повышения рентабельности морских грузоперевозок является умение осуществлять переход судна по наиболее выгодному экономически пути. Критерием наивыгоднейшего пути является выполнение перехода судна из порта погрузки в порт назначения в кратчайшее время при условии обеспечения безопасности плавания и сохранности груза. Определяющим фактором экономии ходового времени является оптимизация пути судна на трансокеанском участке маршрута перехода, так как прибрежное плавание лимитировано опасностями рельефа морского дна, границами опасных и запретных для плавания районов и системой управления движением судов.

Во всех источниках по навигации изложена методика плавания по дуге большого круга (ДБК), которая является кратчайшим расстоянием между двумя точками на земном шаре. Поскольку математической основой построения морских навигационных карт является земной сфероид, то наиболее точным плаванием по кратчайшему пути является плавание по геодезической линии (ГЛ), которая является ортодромией этого сфероида. Разность длины ГЛ и ДБК между двумя точками с заданными географическими координатами достигает 7 миль на 1000 миль плавания. Такая погрешность вычисления длины кратчайшей линии была соизмерима с погрешностью счисления пути судна в отдаленных от берега районах плавания до появления в 70-ых годах прошлого столетия навигационных спутниковых систем (НСС). Применение на судах автоматизированных информационно-управляющих систем (АИУС), сопряженных с НСС, дает возможность снизить потери ходового времени за счет более точного судовождения примерно на 1%. Это в свою очередь обеспечивает уменьшение расхода топлива на 3%.

Анализ последних публикаций, в которых начато решение проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. В [1] приведены приближенные формулы по вычислению длины локсодромии с учетом сфероидичности Земли, которую с помощью ортодромической поправки расстояния, выбранной из Мореходных таблиц ГУНиО МО РФ [2], можно перевести в длину геодезической линии. Однако формулы для вычисления длины локсодромии, изложенные в [1], дают достаточно точный результат при разности широт начальной и конечной точек локсодромии не более 2° ($\Delta\varphi_{НК} \leq 20^\circ$). Применение табличных значений ортодромической поправки расстояния делает невозможным использование программируемых электронно-вычислительных систем для определения геодезического расстояния. Способы нанесения геодезической линии на карте меркаторской проекции в учебных пособиях по навигации не изложены.

Цель статьи. Целью статьи является определение методики вычисления длины геодезической линии между двумя точками с заданными географическими координатами



с помощью простых математических формул и разработка способов прокладки этой линии на карте меркаторской проекции.

Во всех источниках по навигации для вычисления кратчайшего расстояния на трансокеанском участке маршрута перехода судна используют известную формулу сферической тригонометрии:

$$S_{ДБК} = \arccos(\sin\varphi_n \sin\varphi_k + \cos\varphi_n \cos\varphi_k \cos\Delta\lambda_{нк}) \quad (1)$$

Аргументами формулы (1) являются заданные географические координаты начальной и конечной точек трансокеанского пути судна, которые определяют положение этих точек на земном сфероиде. Поскольку формула (1) относится к сферической тригонометрии, то аргументами этой формулы должны быть сферические координаты, которые определяют положение точки на земном шаре.

Таким образом, применение заданных географических координат начальной и конечной точек трансокеанского пути судна в качестве аргумента в формуле сферической тригонометрии приводит к погрешности вычисления кратчайшего расстояния пути судна на карте меркаторской проекции. Так, например, если математической основой решения навигационных задач является земной шар, радиус которого равен большой полуоси земного сфероида ($R_{с\phi} = a$), то погрешность вычисления кратчайшего расстояния между точками А и В земного сфероида очевидна на рис. 1.

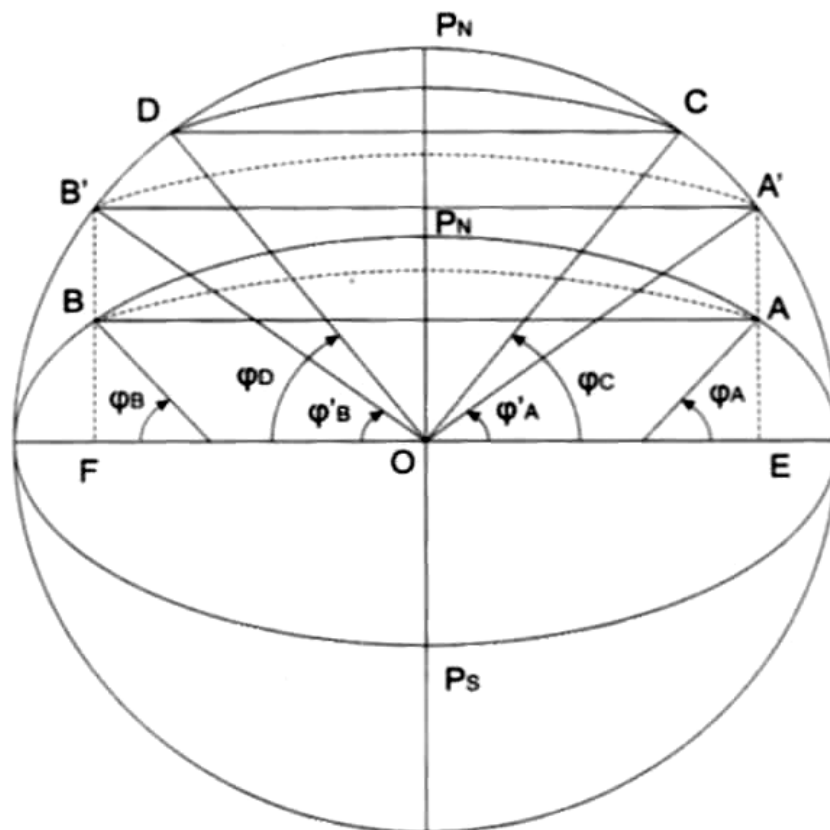


Рисунок 1 – Совмещение земного эллипсоида с земным шаром, радиус которого равен большой полуоси этого эллипсоида

Если точки А и В расположены на одной параллели земного сфероида ($\varphi_A = \varphi_B$) и при этом географическая широта точек А и В равна сферической широте точек С и D ($\varphi_A = \varphi_C; \varphi_B = \varphi_D$) то длина дуги большого круга CD, вычисленная с помощью формулы (1), получится меньше, чем длина геодезической линии АВ.



Если через точку A провести прямую AE , параллельную малой оси земного сфероида, и продолжить эту прямую до пересечения с поверхностью земного шара, то получим точку A' , сферическая широта которой φ_A . Аналогично получаем точку B' на земном шаре, сферическая широта которой φ_B .

Как видно на рисунке (1) – длина и форма дуги большого круга $A'B'$ близка к длине и форме геодезической линии AB . Поэтому применение сферической широты точек A' и B' (φ_A и φ_B) в формуле (1) дает наилучшую точность вычисления длины геодезической линии между точками A и B земного сфероида.

Таким образом, для вычисления длины геодезической линии и нанесения этой линии на карте меркаторской проекции с помощью формул сферической тригонометрии необходимо заданные географические координаты начальной и конечной точек ГЛ привести к сферическим координатам. Поскольку плоскость истинного меридиана земного сфероида совпадает с плоскостью истинного меридиана земного шара, то географическая широта точки равна сферической широте. Поэтому необходимо вывести формулу по приведению географической широты точки к сферической широте.

Порядок приведения географической широты точки к сферической широте на земном шаре, радиус которого равен длине большой полуоси земного эллипсоида (рис. 2):

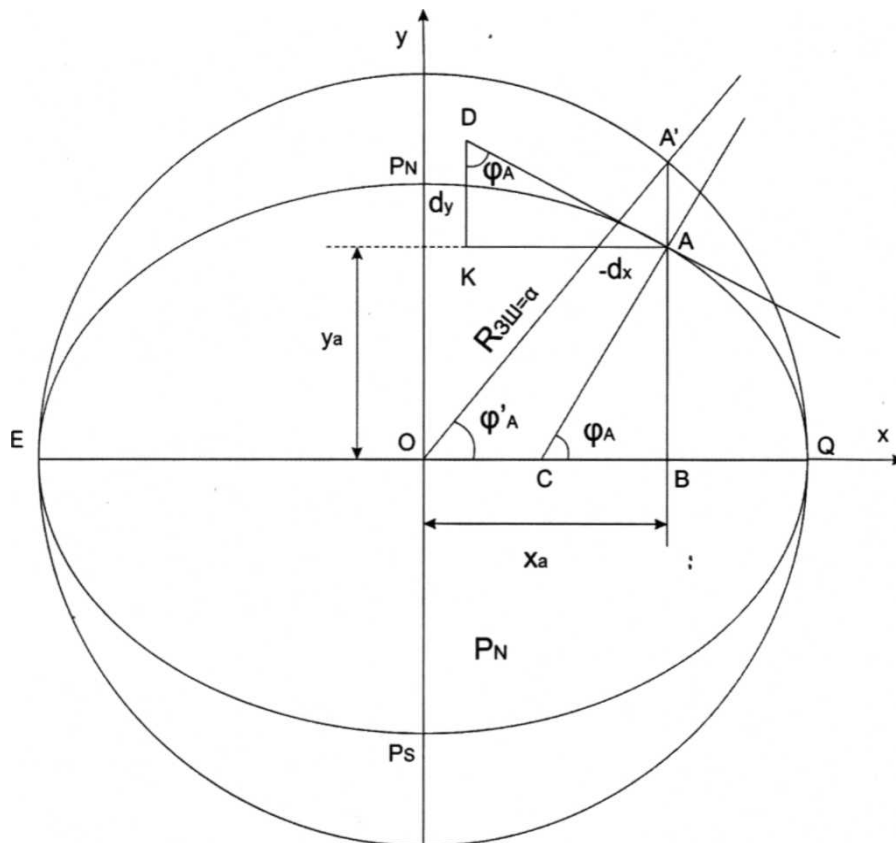


Рисунок 2 – Совмещение земного эллипсоида с земным шаром, радиус которого равен большой полуоси этого эллипсоида

1. Вычерчиваем меридианный эллипс EP_NQP_S .
2. Из центра этого эллипса O проводим окружность, радиус которой равен длине большой полуоси земного эллипсоида, и получаем сферический меридиан земного шара.
3. Через произвольную точку A меридианного эллипса параллельно малой оси земного эллипсоида проводим прямую линию AB до пересечения с истинным меридианом земного шара в точке A' .



4. Проводим нормаль АС к меридианному эллипсу и получаем угол АСQ, который является географической широтой точки А на поверхности земного эллипсоида, и обозначаем этот угол φ_A .

5. Проводим нормаль А'О к сферическому меридиану и получаем угол А'ОQ, который является приведенной сферической широтой точки А и обозначаем этот угол φ'_A .

6. Выводим формулу для вычисления приведенной сферической широты φ'_A .

6.1 Обозначаем элементарные приращения меридианного эллипса – dx и dy помощью прямоугольного треугольника АКD.

6.2 Производную $y' = -\frac{dy}{dx}$ получаем двумя способами:

6.2.1 Из треугольника АКD:

$$y' = -\frac{dy}{dx} = -ctg\varphi_A. \quad (2)$$

6.2.2 Дифференцированием уравнения эллипса:

$$\frac{x_A^2}{a^2} + \frac{y_A^2}{b^2} = 1 \rightarrow y_A = \frac{b}{a}\sqrt{a^2 - x_A^2} = \frac{b}{a}(a^2 - x_A^2)^{\frac{1}{2}};$$

$$y' = \frac{dy}{dx} = \frac{b}{a} \cdot \frac{1}{2}(a^2 - x_A^2)^{\frac{1}{2}-1}(-2x) = -\frac{bx_A}{a\sqrt{a^2 - x_A^2}}. \quad (3)$$

6.3 С учетом того, что $x_A = x'_A = a \cos \varphi'_A$ – формула (3) приобретает следующий вид:

$$y' = \frac{ba \cos \varphi'_A}{a\sqrt{a^2 - a^2 \cos^2 \varphi'_A}} = -\frac{b \cos \varphi'_A}{a \sin \varphi'_A} = -\frac{b}{a} ctg \varphi'_A. \quad (4)$$

6.4 Из формул (3) и (4) получаем формулу для вычисления приведенной сферической широты точки А:

$$y' = -\frac{b}{a} ctg \varphi'_A = -ctg \varphi_A \rightarrow tg \varphi'_A = \frac{b}{a} tg \varphi_A, \quad (5)$$

где $\frac{b}{a}$ – это коэффициент сжатия эллипса, который можно выразить через сжатие эллипса

$$\alpha = \frac{a-b}{a};$$

$$\frac{b}{a} = 1 - \frac{a-b}{a} = 1 - \alpha \rightarrow tg \varphi'_A = (1 - \alpha)tg \varphi_A. \quad (6)$$

Таким образом, исходя из формулы (6) – приведенную сферическую широту начальной и конечной точек трансокеанского пути судна вычисляют по формулам:

$$\varphi'_i = (1 - \alpha)tg \varphi_i; \quad (7)$$

$$\varphi'_k = (1 - \alpha)tg \varphi_k, \quad (8)$$

где α – полярное сжатие земного эллипсоида; φ_i – заданная географическая широта начальной точки трансокеанского пути судна; φ_k – заданная географическая широта конечной точки трансокеанского пути судна. Таким образом, длину геодезической линии



между начальной и конечной точками трансокеанского пути судна с помощью основной формулы сферической тригонометрии для вычисления дуги большого круга:

$$L_{ГЛ} = \arccos[\sin(\pm\varphi'_n)\sin(\pm\varphi'_k) + \cos\varphi'_n \cos\varphi'_k \cos\Delta\lambda_{нк}], \quad (9)$$

где φ'_n – приведенная сферическая широта начальной точки трансокеанского пути судна, которую вычисляют по формуле (7); φ'_k – приведенная сферическая широта конечной точки трансокеанского пути судна, которую вычисляют по формуле (8); $\Delta\lambda_{нк}$ – разность географических долгот начальной и конечной точек трансокеанского пути судна.

Поскольку математической основой формулы (9) является земной шар, радиус которого равен длине большой полуоси земного эллипсоида, то длину одной минуты дуги истинного меридиана этого земного шара вычисляют по формуле:

$$\Delta l' = R_{зш} \arcl' = a \cdot \arcl', \quad (10)$$

Поскольку $\Delta l' = a \cdot \arcl'$ – это длина экваториальной (географической) мили, то длину геодезической линии вычисляют с помощью формулы (9) в экваториальных (географических) милях.

Для того, чтобы длины геодезической линии, вычисленную в экваториальных милях, выразить в морских милях, применяют зависимость:

$$1 \text{э(гг)мил} = \frac{a \cdot \arcl'}{1852} \text{ м.миль}. \quad (11)$$

С учетом формулы (11) – формула для вычисления длины геодезической линии принимает следующий вид:

$$L_{ГЛ} = \frac{a \cdot \arcl'}{1852} \arccos[\sin(\pm\varphi'_n)\sin(\pm\varphi'_k) + \cos(\pm\varphi'_n)\cos(\pm\varphi'_k) \cos\Delta\lambda_{нк}]. \quad (12)$$

Нанесение геодезической линии на карте меркаторской проекции производится в следующей последовательности:

1. Одним из известных способов вычисляют координаты промежуточных точек дуги большого круга с помощью известных формул сферической тригонометрии, аргументом которых является приведенная сферическая широта начальной и конечной точек трансокеанского пути судна.

2. Вычисленную приведенную сферическую широту всех промежуточных точек ДБК преобразуют в географическую широту этих точек:

$$\varphi_i = \arctg \frac{tg\varphi'_i}{1-\alpha}. \quad (13)$$

3. В режиме табличного метода создания маршрута перехода судна на электронной карте вводят вычисленные географические координаты всех промежуточных точек в таблицу данных по создаваемому маршруту или наносят эти точки на бумажных путевых картах – сетках трансокеанского участка маршрута перехода.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению. Предложенный в работе метод вычисления длины геодезической линии и прокладки этой линии на карте меркаторской проекции создает предпосылки к разработке программного обеспечения судовых электронных картографических систем по отображению на дисплее траектории движения судна по геодезической линии, которая обеспечивает наилучшую точность судовождения.

На сегодняшний день в условиях растущих цен на нефтепродукты в условиях всемирного кризиса, экономия топлива является одним из определяющих фактором рентабельности торгового судоходства. В силу того, что экономия ходового времени позволяют снизить расход ГСМ, данная методика путем несложных модификаций



программного кода судової електронної картографічної системи дає можливість збільшити рентабельність судноходства без суттєвих затрат виробничих ресурсів і потужностей.

На сьогоднішній день в умовах ростучих цін на нафтопродукти в умовах всесвітнього кризи, економія палива є одним з визначальних факторів рентабельності торгового судноходства. В силу того, що економія ходового часу дозволяють знизити витрати ГСМ, дана методика шляхом нескладних модифікацій програмного кода судової електронної картографічної системи дає можливість збільшити рентабельність судноходства без суттєвих затрат виробничих ресурсів і потужностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев В. И. Навигация и лоция : учебник для ВУЗов / В. И. Дмитриев, В. Л. Григорян, В. А. Котенин. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 471 с.
2. Мореходные таблицы. (МТ-2000). – М. : изд. ГУНиО МО РФ, 2000.
3. Лесков М. М. Навигация: учебник [для ВУЗов морск. транспорта] / М. М. Лесков, Ю. К. Баранов, М. И. Гаврюк – М. : Транспорт, 1986. – 360 с.
4. Ющенко А. П. Навигация: учебник для вузов / А. П. Ющенко, М. М. Лесков. – М. : Транспорт, 1965. – 411 с.

Спешилов В.М. МЕТОДИКА ОБЧИСЛЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ЛІНІЇ. СПОСОБИ НАНЕСЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ЛІНІЇ НА КАРТІ МЕРКАТОРСЬКОЇ ПРОЕКЦІЇ.

В статті запропонована методика обчислення довжини геодезичної лінії та способи нанесення цієї лінії на карті меркаторської проекції за допомогою формул сферичної тригонометрії, аргументом яких є приведена сферична широта початкової та кінцевої точок трансокеанської ділянки маршруту переходу судна. Кінцевою метою роботи є підвищення рентабельності морських вантажоперевезень за рахунок економії ходового часу на трансокеанській ділянці маршруту переходу судна.

Ключові слова: дуга великого кола, геодезична лінія, приведена сферична широта точки.

Speshylov V.M. METHOD OF CALCULATION THE GEODESIC LINE. METHOD OF APPLICATION THE GEODESIC LINE ON THE MERCATOR CHART

The calculation procedure of a geodesic line's length and how to lay this line on a Mercator chart with the help of spherical trigonometry formulas, the argument of which is a rectified spherical latitude of initial and finishing points of transoceanic area of a vessel's transit lane, is proposed in this article.

A final aim of the article is to rise the profitability of cargo shipping at the account of time saving on the transoceanic area of a vessel's transit lane.

Keywords: arc of the great circle, geodesic line, rectified spherical latitude of a point.



АТТЕСТАЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ НА СУДНЕ – ПУТЬ К БЕЗОПАСНОМУ СУДОВОЖДЕНИЮ И ОХРАНЕ ТРУДА ЭКИПАЖА

Шкворец Н.О., Леонов В.Е.

Херсонская государственная морская академия

В статье выполнен анализ Международной и Национальной нормативно-правовой и законодательной базы по проблеме аттестации на морском транспорте, а также практический опыт аттестации рабочих мест на судах. Анализ материалов показал, что практически по всем рабочим помещениям и особенно по машинно-котельному отделению имеет место превышение уровня над установленными нормативными показателями по параметрам: шума и вибрации, параметрам микроклимата, электромагнитного поля. На многих судах отсутствует документация по аттестации рабочих помещений в соответствии с указанными нормативными документами. Предложено рассмотреть вопрос практических рекомендаций аттестации рабочих помещений на судах с целью обеспечения охраны труда и живучести судна.

Ключевые слова: аттестации рабочих мест на судах, вредные и опасные факторы на судне, охрана труда, безопасность судна, шум, вибрация.

Постановка задачи. Большое значение для безопасности труда моряков имеет соблюдение требований комплекса действующих на флоте нормативных документов по охране труда при выполнении штатного рейса, эксплуатации судов и их оборудования.

Улучшение условий труда и его безопасность, охрана являются существенным резервом повышения эффективности морских перевозок. Благодаря безопасности труда происходит снижение травматизма, сохранение живучести экипажа, при обеспечении и уменьшении расходов на компенсацию возможных случаев травматизма и профессиональных заболеваний, вызванных неблагоприятными условиями труда.

Анализ последних публикаций. В июне 2010 г. в Маниле на Филиппинах приняты ряд поправок к Международной конвенции о подготовке, дипломировании моряков и несении вахты 1978 г. [1]. С 1 января 2012 года они вступили в силу и по информации ИМО включают следующие вопросы:

- ужесточение мер по борьбе с мошенничеством в сфере сертификации моряков;
- пересмотр требований к режиму труда и отдыха;
- новые требования по предотвращению злоупотребления алкоголем и наркотиками;
- обновленные медицинские стандарты состояния здоровья моряков;
- новые требования к сертификации матросов;
- новые требования по подготовке в области современных технологий (в частности, по использованию электронных карт и информационных систем – ECDIS);
- новые требования по подготовке в области защиты морской среды, выработки лидерских качеств и работы в команде;
- новые требования по подготовке и сертификации электриков и механиков;
- обновленные требования по компетенции для плавсостава, занятого на танкерах всех типов, включая LNG-танкеры;
- новые требования по подготовке в области безопасности, включающие курсы пиратской деятельности;
- введение новых методов обучения, включая дистанционное обучение и обучение через Интернет;
- новое руководство для плавсостава, работающего в полярных водах;
- новое руководство для плавсостава, оперирующего системами динамического позиционирования.

Порядок и периодичность проведения аттестации рабочих мест определены постановлением Кабинета Министров Украины от 1 августа 1992 года № 442 «О порядке проведения аттестации рабочих мест по условиям труда» и Методических рекомендаций



для проведення аттестации рабочих мест по условиям труда, утвержденным постановлением Министерства труда Украины от 1 сентября 1992 года № 41[2]

Аттестация проводится в сроки не реже одного раза в пять лет. Ее результаты оформляются соответствующим приказом и являются основанием для установления в коллективном договоре конкретных льгот и компенсаций работникам по условиям труда, а также подтверждающим документом при оформлении пенсии.

Цель работы – провести анализ обобщение вредных и опасных факторов на судне, сравнение нормативных и реальных показателей, по таким параметрам, как шум и вибрация. Разработка рекомендаций по составлению аттестации рабочих мест.

Основная часть. Достижение поставленной цели требует решения следующих задач:

- контроль за состоянием безопасных условий труда на рабочих местах экипажа судна;
- проведение обязательных медицинских обследований моряков;
- соблюдение режимов труда и отдыха экипажа судна;
- информирование экипажа об условиях и охране труда на рабочих местах, о риске производственных травм;
- приобретение и выдача средств специальной одежды, обуви и других средств индивидуальной защиты (СИЗ);
- разработка и утверждение правил и инструкций по охране труда и ознакомление работников с ними;
- установление работникам дополнительных льгот, гарантий и компенсаций.

Все перечисленные мероприятия с недавних пор не обходятся без проведения на предприятии аттестации рабочих мест по условиям труда, которой в настоящее время отводится ведущая роль в системе работ по охране труда, а сам процесс аттестации рабочих мест сегодня носит ширококомасштабный характер [3].

Аттестация – это прежде всего задача улучшить:

- реальное производственное обеспечение сотрудника;
- условия труда;
- безопасность производственных процессов;
- снижение уровня травматизма;
- повышение эффективности и качества выполняемой работы;
- соответствие условий труда международным кодексам SOLAS, МКУБ, СУБ, ISO 9001.

Суть аттестации рабочих мест состоит в том, чтобы выявить и устранить воздействие вредных и опасных факторов на организм человека при осуществлении им трудовой деятельности или компенсировать эти факторы в случае невозможности устранения.

Таким образом, общая оценка безопасности рабочих мест будет состоять из суммы факторов, отражающих реальные нормы безопасности на рабочих местах (1).

$$\sum P = \Phi_{\phi} + \Phi_x + \Phi_{\sigma} + B_n, \quad (1)$$

где Φ_{ϕ} – физические производственные факторы повышенной опасности, Φ_x – химические производственные факторы повышенной опасности, Φ_{σ} – биологические производственные факторы повышенной опасности, B_n – психофизиологические производственные факторы повышенной опасности.

Каждый из этих факторов состоит из целого ряда потенциальных опасных и вредных факторов на судах.

Поэтому важно правильно выбрать нормы для оценки факторов, которые отражают конкретные условия работы плавсостава, в том числе и для работ в особом режиме: вахтовым методом, при воздействии круглосуточной вибрации, полярной ночи, продолжительности смены, выполнения различных трудовых операций.



Таблиця 1 – Уровень шуму и вибрации на судне Baltic Winter

№	Помещение	Шум, дБ		Вибрация, м/с	
		Уровень	Норма	Уровень	Норма
1.	Wheel House Portside	76	65	11,6	8
2.	Wheel House Starboard	69	65	4,4	8
3.	Wheel House chart Desk	65	65	7,4	8
4.	Captain Day Room	63	60	13,1	6
5.	Captain Day Room	64	60	6	6
6.	Captain Day Room	64	60	3	6
7.	2 nd Officer	58	60	5,8	6
8.	Chief Engineer Day Room	65	60	10	6
9.	Chief Engineer Day Room	65	60	8,8	6
10.	Chief Engineer Bed Room	62	60	2,2	6
11.	2 nd Engineer	62	60	6	6
12.	Pilot	62	60	7,1	6
13.	3 rd Officer	61	60	5,9	6
14.	Chief Officer Day Room	63	60	7,5	6
15.	Chief Officer Day Room	61	60	6	6
16.	Chief Bed Room	60	60	3,7	6
17.	Owner Day Room	63	60	12,5	6
18.	Owner Day Room	63	60	6	6
19.	Owner Bed Room	58	60	2,5	6
20.	3 rd Engineer	60	60	7,1	6
21.	Room 405-Cook	61	60	4,3	6
22.	Room 304	62	60	5,2	6
23.	Room 302	58	60	2,8	6
24.	Room 306	59	60	2,8	6
25.	Room 301	58	60	2,4	6
26.	Room 303-Electr.	62	60	8,4	6
27.	Room 305	62	60	3,6	6
28.	Room 309	64	60	5,2	6
29.	Room 307	62	60	6,7	6
30.	Conference Room	64	65	2,6	6
31.	Recreation Room	64	65	3,1	6
32.	Officer Mess Room	62	65	2	6
33.	Crew Mess Room	60	65	2,6	6
34.	Galley	75	75	5,5	8
35.	Room 105	68	60	2,2	6
36.	Room 107	66	60	2,9	6
37.	Ship Office	68	65	3,1	8
38.	Engine Office	69	65	5,1	8
39.	Gym	70	65	3,1	8
40.	Engine Room	75	75	2,7	8
41.	Engine Workshop	83	85	2,5	No limits
42.	Engine Room, Cyl.-Station	116	110	20,3	No limits
43.	Engine Room, Cyl.-Station	116	110	7,9	No limits
44.	Engine Room, Cyl.-Station	116	110	16,8	No limits
45.	Engine Room, Tank Deck	113	110	20,5	No limits
46.	Engine Room, Tank Deck	113	110	8,6	No limits



Необходимо оценивать не только факторы производственной среды повышенной опасности непосредственно в процессе работы, а несколько шире и в процессе отдыха после вахты. На судне человеческий организм подвергается воздействию шума, электромагнитного поля, вибрационным нагрузкам. На многих судах даже современной постройки наблюдается нарушение различных факторов повышенной опасности.

Как следует из данных таблицы при сравнении нормативных и реальных показателей, по таким параметрам, как шум и вибрация на судне имеется явное нарушение этих факторов повышенной опасности. Шум и вибрация ухудшают здоровье экипажа, снижают производительность труда. Действуя на центральную нервную систему, шум влияет на весь организм человека. Длительный и интенсивный шум влияет на органы слуха, приводя иногда к глухоте, вызывает серьезные расстройства нервно-психической и сердечно-сосудистой деятельности организма. Утомление работающих через сильный шум способствует замедлению скорости психических реакций, в результате чего увеличивается число ошибок при работе. Это может стать причиной аварий судовых механизмов и травматизма личного состава.

Интенсивное воздействие вибрации, так же как и шума, не только ухудшает самочувствие человека, но и часто приводит к ухудшению его здоровья: нарушение обмена веществ, снижению остроты зрения и слуха, расстройству нервной системы. В судовых условиях общая вибрация организма передается внутреннему уху человека путем костной проводимости. Длительная работа с оборудованием, создающим повышенный уровень вибрации, может привести к тяжелому профессиональному заболеванию – виброболезнь, что выражается в устойчивых изменениях физиологических функций организма, обусловленных нарушениями центральной нервной системы.

Поэтому при аттестации рабочих мест показатели шума и вибрации должны быть подтверждены инструментально, что может осуществить лишь независимая специализированная аттестующая организация с набором необходимых для проведения аттестации средств.

Аттестации подлежат все рабочие места, за исключением рабочих мест, на которых выполняются работы в условиях чрезвычайных ситуаций (спасательные работы, тушение пожаров). Аттестоваться рабочее место должно обязательно при работающем судовом оборудовании. Отдельно следует выделить фотографию рабочего времени. Аттестационной комиссией с помощью фотографии рабочего времени и хронометражных наблюдений определяется срок пребывания работника в различных пунктах рабочей зоны, необходимый для выполнения обязанностей, предусмотренных должностной инструкцией или квалификационной характеристикой. Также определяются соответствие выполняемых работником работ технологическому процессу и продолжительность операций, во время которых на работника воздействуют вредные производственные факторы. Хронометражные наблюдения, проведенные качественно и правильно, существенно влияют на конечную оценку условий труда работника, от которой зависят размеры льгот и компенсаций [4].

Термин «рабочее место аттестованно» означает – рабочее место подвергнутое процедуре аттестации по условиям труда. При этом оценка условий труда может быть разной в зависимости от соответствия или несоответствия фактических значений факторов производственной среды и трудового процесса гигиеническим нормативам, выполнения или невыполнения требований травмобезопасности + рабочего места и обеспеченности работников.

В общем случае аттестация рабочих мест по условиям труда включает:

- гигиеническую оценку условий и характера труда (инструментальные измерения и оценка физических и химических факторов: освещенности, шума, вибрации, микроклимата, неионизирующего излучения, химического состава воздуха рабочей зоны);
- оценку психофизиологических факторов трудового процесса (тяжести и напряженности трудового процесса);



- експертную оценку травмобезопасности рабочего места;
- оценку обеспеченности работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с установленными нормами [5].

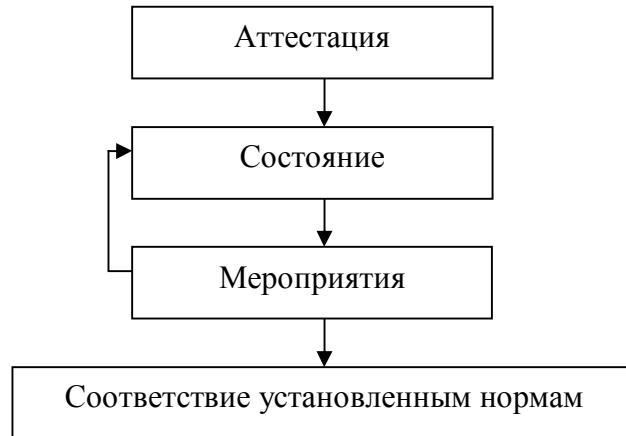


Рисунок 1 – Оценка фактического состояния рабочего места

На основании аттестации рабочих мест составляется карта аттестации рабочего места по условиям труда, содержащая сведения о фактических условиях труда на рабочем месте, применяемых компенсациях, размерах повышения заработной платы и соответствии их действующему законодательству, а также рекомендации по улучшению условий труда на данном рабочем месте или группе аналогичных рабочих мест [6].

Выводы. Таким образом, в результате выполненного анализа установлено, что документация об аттестации на морском транспорте узаконена как на международном, так и региональном национальном уровнях. Однако в реальных условиях ни на одном судне не аттестованы рабочие помещения, ни одно судно не аттестовано по условиям безопасности труда. Анализ материалов показал, что практически по всем рабочим помещениям и особенно по машинно-котельному отделению имеет место превышение уровня над установленными нормативными показателями по параметрам шума и вибрации. Предлагается провести обследование реального судна в условиях Укрречфлота в части реального состояния и уровня факторов повышенной опасности техногенных систем, с целью их приведения к нормальным параметрам в соответствии с международными конвенциями и национальными документами. По отдельным вопросам касающимся повышения уровня установленных норм согласно нормативно-правовой базы будут разработаны и предложены конкретные мероприятия по снижению уровня воздействия судовых факторов повышенной опасности на экипаж.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манильские поправки 2010 г. к кодексу ПДНВ 78.
2. Закон Украины «Об охране труда» от 14 октября 1992 года № 2694-ХІІ.
3. Петрова А. В. Охрана труда на производстве и в учебном процессе / А. В. Петрова, А. Д. Корощенко, Р. И. Айзман. – Санкт-Петербург : Сибирское университетское издательство, 2008. – 190 с.
4. Ефремова О. С. Аттестация рабочих мест по условиям труда в организациях / О. С. Ефремова. – С.-П.-б. : Альфа-Пресс, 2007. – 560 с.
5. Ефремова О. С. Сборник инструкций по охране труда. Часть 2. / О. С. Ефремова. – Москва : Альфа-Пресс, 2008. – 384 с.
6. Ильина Е. И. Оформление карты аттестации рабочего места по условиям труда в соответствии с требованиями нового порядка / Е. И. Ильина, Т. Н. Частухина. – Иваново : ООО «Научно-исследовательский институт охраны труда».



Шкворець Н.О., Леонов В.Є. АТЕСТАЦІЯ РОБОЧИХ МІСЦЬ НА СУДНІ – ШЛЯХ ДО БЕЗПЕЧНОГО СУДНОВОДІННЯ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ ЕКІПАЖУ

У статті виконано аналіз Міжнародної та Національної нормативно-правової та законодавчої бази з проблеми атестації на морському транспорті, а також практичний досвід атестації робочих місць на суднах. Аналіз матеріалів показав, що практично по всіх робочих приміщеннях і, особливо, у машинно-котельному відділенню мають перевищення рівня над встановленими нормативними показниками за параметрами: шуму і вібрації, параметрів мікроклімату, електромагнітного поля. На багатьох суднах відсутня документація з атестації робочих приміщень у відповідності з вказаними нормативними документами. Запропоновано розглянути питання практичних рекомендацій атестації робочих приміщень на суднах з метою забезпечення охорони праці та живучості судна.

Ключові слова: атестації робочих місць на суднах, шкідливі і небезпечні фактори на судні, охорона праці, безпека судна, шум, вібрація.

Shkvorets N.O., Leonov V.E. CERTIFICATION OF JOBS ON BOARD – THE ROAD TO NAVIGATION SAFETY AND HEALTH CREW

The article gives the analysis of International and National standard and legislative documentation basis connected with vehicles attestation, as well as the practical experience of working places attestation. Data analysis has revealed that in fact all the working spaces, especially the engine room and the boiler room, there is exceeding noise level over the prescribed standard indications on the following parameters: noise and vibration, microclimate parameters, electromagnetic field. Many ships do not have the required documentations in accordance with the proper standard documents available. The problem of practical recommendations of attestation of working places onboard in order to ensure labor safety and ship's survivability is suggested to consider. Practical recommendations of working places attestation onboard in order to provide labor safety and ship's survivability are suggested for consideration.

Keywords: attestation of working places onboard, harmful and dangerous factors onboard, labor safety, safety of the ship, noise, vibration.





ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ



СИСТЕМНА ІНДИВІДУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ АВІАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ

Камишин В.В.

Інститут обдарованої дитини Національної академії педагогічних наук України, м. Київ

Враховуючи позитивний вплив рівня професійної підготовки авіаційних операторів на безпеку польотів, розглянуті чинники, що перешкоджають активному й ефективному формуванню відповідних знань, вмінь та навичок. Розроблені і подані рекомендації з урахування в процесі підготовки типологічних особливостей, активності (пасивності) поведінки, а також етапів підготовки тих, хто навчається.

Ключові слова: безпека польотів, авіаційний оператор, рівень професійної підготовки, характеристики поведінки тих, хто навчається і реакцій інструктора.

Вступ. Науково-технічний прогрес (НТП) привів до збільшення надійності авіаційної техніки (АТ): за останні десятиріччя показники відношення кількості відмов до часу роботи в повітрі підвищилися практично в 10-15 раз [1]. При цьому десятиліттями з 1960-х років частка людського чиннику (ЛЧ) від загального числа причин авіаційних пригод (АП) оцінюється постійним зростанням від 40-50 % до 80-90 %. Вказаний показник відноситься, в основному, до сертифікованого льотного персоналу комерційної авіації. З урахуванням польотів авіації загального призначення, техобслуговування, управління повітряним рухом, інфраструктури транспортного комплексу загальна частка ЛЧ виявляється більше 90 % [2]. І зрозуміло, що чим більш кваліфікований авіаційний персонал, тим менше помилок він допускає в процесі виконання професійних функцій, що, безумовно, позитивно впливає на безпеку польотів (БП). Причому останніми роками професійна підготовка (ПП) авіаційного персоналу конкретизується в концепції культури безпеки [3]: підкреслюється необхідність не тільки достатньо високого рівня кваліфікаційної підготовленості, але і наявність такого важливого елемента, як психологічна підготовленість.

Актуальність досліджень. Пошук шляхів і механізмів підвищення ефективності ПП авіаційних операторів (АО) йде постійно. Застосування нових методів підготовки і вдосконалення діючих можна розглядати як основні способи, що ефективно впливають на якість ПП і надійність професійної діяльності АО. Прагнення вчених, фахівців та керівництва служби підготовки авіаційного персоналу до постійного пошуку шляхів вдосконалення процесу навчання призвело до розробки цілого спектру різноманітних програм ПП АО, узагальнення яких здійснене у працях [4-9]. Це зумовлюється:

1) все зростаючими темпами НТП, розробкою і впровадженням різних систем управління повітряними судами (ПС), технологічними і комунікативними процесами і, як наслідок, – появою нових авіаційних професій операторського профілю чи нових специфічних рис в діючих АО;

2) високою складністю і відповідальністю операторської діяльності, підвищеною небезпекою, що супроводжується у ряді випадків, про що переконливо свідчить статистика АП в авіації [1, 2, 9, 10];

3) наявністю феноменів системної організації компонентів операторської діяльності, їх тісного взаємозв'язку і взаємозалежності, що визначає необхідність розгляду цієї діяльності як такої, що відбувається в системі «людина – машина – середовище».

Отже, ІКАО рекомендує для дослідження і оцінки впливу ЛЧ на БП використати модель SHELL [10] як розширений варіант моделі «людина – машина – середовище» [11], яка сприяє системному розумінню ЛЧ (рис. 1). Кожний компонент моделі SHELL являє собою один з фундаментальних принципів дослідження ЛЧ [9; 10].

Сполучення L-L (рис. 1) суттєво впливає на безпеку і ефективність будь-якої ергатичної системи (ЕС), в тому числі і цілеспрямованої навчальної ЕС управління



(ЦНЕСУ) «інструктор – технічний засіб навчання (ТЗН: тренажер, літак та ін.) – навчальний екіпаж» [12], оскільки успіх у навчанні залежить і від професійно-важливих якостей (ПВЯ) пілота-інструктора (П_І), і від ПВЯ АО, який проходить ПП, а також і від їх взаємних контактів.

Сформулюємо з урахуванням [13, 14] чинники, які перешкоджають процесу ПП:

– атмосфера недоброзичливості у взаємовідносинах того, хто навчається і ПП, що виявляється в завищених, на думку курсанта, вимогах з боку ПП і, відповідно, занижених оцінках результатів ПП;

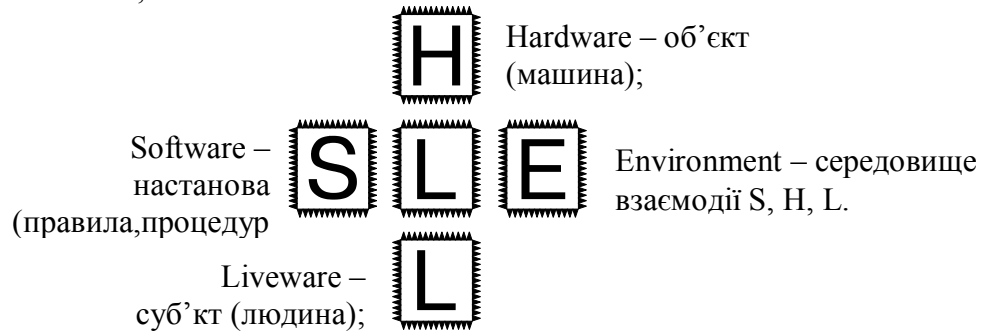


Рисунок 1 – Загальна схема моделі SHELL, яка рекомендується ІКАО для дослідження людського чиннику (E. Edvards, F.H. Hawkins)

– байдужість того, хто навчається, до послідовності ускладнення операцій при освоєнні курсу (таких осіб цікавить лише кінцевий результат або підсумковий документ);

– нестача інтересу слухача до предмета, зумовлена пригніченим настроєм, особистими проблемами, поганим викладанням, неприязню до інструктора, небажанням вчитися;

– почуття страху, викликане різними причинами та ін.

У деяких випадках недостатній прогрес у навчанні може бути зумовлений причинами, пов’язаними особисто зі слухачем:

– нездатністю того, хто навчається, сприймати велику кількість інформації за короткий час;

– нездатність завчити осмислену інформацію при сильних впливах попередніх навичок і знань;

– нездатність займатися відразу декількома справами, працювати з новим незвичайним матеріалом, моральне і емоційне перевантаження того, хто навчається;

– нестача необхідних ПВЯ пілота.

Тому питання особистісно-орієнтованої ПП АО, враховуючи її незвичайно велику вартість, є актуальним.

Постановка задачі дослідження. Виходячи з вищенаведеного, метою цієї публікації є розробка науково-обґрунтованих рекомендацій з індивідуалізації ПП АО.

Результати досліджень. Люди відрізняються один від одного організацією нервово-психічної діяльності, які віднесені до складової поведінкової невизначеності [15, 16]. Такі типологічні відмінності вимагають різноманітного підходу до організації навчання (табл. 1).

Привертаємо увагу, що рекомендації щодо індивідуалізації ПП АО з меланхолічним темпераментом нами свідомо не розроблялися тому, що як показують десятирічні професійно-психологічного добору в льотні навчальні заклади (ЛНЗ) та практика льотної підготовки, вони просто не можуть пройти такі випробування [17, 18].

Вже тривалий час в переважній більшості держав-членів ІКАО затвердилася думка про те, що в ЛНЗ вихователям, викладачам, П-І не можна бути поблажливими [19]. Програма ПП має передбачати сувору дисципліну, якщо ЛНЗ переслідує мету підготовки висококваліфікованих фахівців з почуттям відповідальності. Якщо курсант за своїми особистими якостями або мірою технічної підготовленості не відповідає визначеним вимогам, то повинні бути прийняті негайно дійові заходи. Однак особливу увагу потрібно



приділяти недисциплінованим слухачам. Хоча б тому, що недисципліновані курсанти часто виявляються здібними учнями. Різке зауваження, необачність, особливо в присутності інших, рідко дає бажаний результат і викликає образи і ворожість. Набагато краще поговорити з тим, хто навчається, віч-на-віч. Перед обговоренням порушення інструктор повинен з'ясувати у того, хто його скоїв, причину порушення, особливо чинники, які сприяли події. Після такої бесіди, якщо необхідно, повинне бути накладене відповідне стягнення.

Таблиця 1 – Рекомендації інструктору щодо врахування організації нервово-психічної діяльності тих, хто навчається

<i>Відмітні ознаки</i>	<i>Підхід, що рекомендується при навчанні</i>
ФЛЕГМАТИКИ	
Полохливий і замкнений	– задавати більше питань; – у розмовах переконувати в успіхах; – частіше відмічати успіхи.
Терплячий, який вибачається, дуже стурбований або нервовий	– більше підбадьорювати; – створювати ситуацію, яка зміцнює почуття впевненості в собі; – шукати причину невпевненості.
Тихий, пасивний, мовчазливий, упереджений	Шукати причини (може не вистачає впевненості в знаннях і здібностях, занадто високі вимоги до себе).
«Так, зрозуміло», але через хвилину «забув»	– шукати причину неспокою (можливо, той, хто навчається, не може признатися, що не зрозумів); – необхідно особливо ретельно дотримуватись послідовності ускладнення задач (принцип «листокового пирога»).
САНГВІНИКИ	
«Середній» пілот	Слідувати звичайній методиці.
Активний і впевнений	Необхідно заохочувати, але уникати формування зайвої самовпевненості.
Жартун	Обмежувати відвернення від матеріалу того, хто навчається, враховуючи, що за маскою жартуна може переховуватись неспокій, невпевненість.
ХОЛЕРИКИ	
Людина, яка цікавиться більше питаннями «Що?» і «Як?», ніж «Навіщо?»	– навчати в плані практичного застосування навичок і матеріалів; – дозволяти і заохочувати отримання інформації від інших осіб, які навчаються.
Активний, прагнучий до відповідей на всі питання	– підбадьорювати, але уникати формування зайвої самовпевненості; – стримувати, не дозволяти придушувати інших; – ставитись до нього м'яко, щоб не викликати невпевненості в собі.
Нетерплячий, думає про те, що буде, замість того, щоб дотримуватись думки інструктора	– провести тренування за правилом «листокового пирога», починаючи кожний раз спочатку і поступово ускладнюючи вправи; – пояснювати, чому чергова стадія навчання є основою для наступної; – виділити в окрему групу, якщо нетерпіння пояснюється різною швидкістю засвоєння матеріалу в групі; – збільшувати темп навчання при достатніх навичках тих, хто навчаються.
Самовпевнений, «пихатий», дуже балакучий, агресивний і образливий	– потребує індивідуального навчання; – уникати конфліктів; – відчувати від зайвої самовпевненості (можлива переоцінка своїх здібностей).



Вказуючи порушнику на його неправильну поведінку, дуже важливо примусити його відчувати, що в наступний раз йому уникнути від покарання, що його чекають відповідні заходи виховання, і що визнання провини не принижує його гідності. Крім того, інструктор повинен дати зрозуміти, що він готовий допомогти тому, хто провинився, виправитися. Така розмова не повинна закінчуватися доганою, коротка бесіда на відвернені теми допоможе курсанту переконатись, що питання вичерпане і що інструктор не має проти нього зла. Найбільш поширені типи недисциплінованих курсантів-пілотів і їх індикатори подані в табл. 2.

Існує, безумовно, багато інших типів, що об'єднують в собі риси, які перераховані в табл. 2. Через велику кількість індивідуальних відмінностей в ній виділяються тільки типи, які найчастіше зустрічаються. Не можна, звичайно, передбачити поради на всі можливі випадки, тому що засіб, який був ефективним одного разу, не може розглядатися як панацея. До кожного окремого випадку потрібно підходити індивідуально і шукати рішення, виходячи з досвіду вже здійснених помилок. У табл. 3 пропонуються деякі заходи, які можуть допомогти П-І з труднощами в роботі з недисциплінованими особами, які навчаються [16, 19].

Невдачі в навчанні або перенавчанні можуть виникнути і на основі ситуації, зумовленої рядом таких причин:

- програма навчання або перенавчання складена невірною;
- той, хто навчається, не може справитись з процесом ПП;
- П-І не може визначити необхідний індивідуальний підхід до того, хто навчається.

Таблиця 2 – Найбільш поширені типи недисциплінованих курсантів-пілотів

Умовне позначення	Характеристика
a	Не визнає колективних дій, не виконує вказівки, робить все по-своєму, не робить спроб допомогти інструктору або товаришам, ухиляється від роботи.
b	«Придира», який вважає, що все неправильне: критикує систему навчання, обладнання і взагалі все, що бачить і чує.
c	Безвідповідальний, безтурботний, недбалий в експлуатації обладнання, неохайний в побуті, нетактовний з людьми.
d	Вороже настроєний, причепливий, завжди готовий до сварки, шукає її.
e	Надміру наполегливий, прагнучий будь-якою ціною, навіть за рахунок товаришів, виконати доручене, вкрай егоїстичний. Цей тип не обов'язково відрізняється задирісткістю.
f	Той, хто марно витрачає час, ледачий, який базікає, працює ліниво і повільно.
g	Боязливий, який боїться своїх товаришів й інструктора, працює один, боїться просити допомоги і не прагне до успіху.
h	Незацікавлений, завжди неуважний і нудьгує.
i	«Всезнайко», який бачить мало користі в заняттях, вважає, що його система підготовки сама краща, сам собі інструктор, багатомовний і багато гласний.
j	Повільний, якому завжди не вистачає часу закінчити роботу, хоч завжди виконує все, що потрібно.
k	Неуважний, у якого думки завжди сконцентровані не на предметі вивчення і який плутає реальне з вимислом.

Таблиця 3 – Рекомендації для роботи з недисциплінованими курсантами

Заходи, що пропонуються	Тип тих, хто навчаються									
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
З'ясувати підготовку	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Давати більше індивідуальних завдань	–	–	–	–	–	–	X	–	–	X
Пояснювати, чому погані результати	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–
Показати шляхи поліпшення	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Бути терплячим при виправленні помилок	–	–	–	–	–	–	X	–	–	X
Не дозволяти відхилятися від відповідальності	X	–	X	–	–	0	–	–	X	–
Забезпечувати умови для успішного виконання завдання	–	–	–	–	–	–	0	X	–	X
Встановити суворий контроль за роботою	X	–	0	–	0	X	–	–	X	–
Поговорити персонально	X	X	–	X	–	X	X	X	–	X
Пояснити, чого від нього чекають	X	–	0	0	0	X	–	X	X	–
Вислухати скарги і визначити обґрунтованість	–	X	–	–	–	–	–	–	–	–
Закликати до чесності	0	0		X	–	–	–	–	–	–
Змінити місце роботи напарників	–	–	0	0	–	–	0	–	–	–
Давати більше роботи	–	–	–	–	X	–	–	X	–	–
Давати менше роботи	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0
Збільшувати відповідальність	X	–	–	–	–	–	–	0	0	–
Давати більш важкі завдання	–	–	–	–	0	–	–	–	0	–
Зажадати довести свої здібності	–	–	–	–	–	–	–	–	X	–
Давати працювати індивідуально	–	0	–	0	–	–	–	–	–	–
Дати можливість працювати з товаришами	–	–	–	–	–	–	X	0	–	–
Повідомляти про успіхи	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ПРИМІТКИ: 0 – загальні заходи, що рекомендуються; X – варіанти, що найбільш підходять у кожному окремому випадку										

При порівнянні темпів формування навичок тих, хто навчаються, в льотній групі можуть відмічатися труднощі і невдачі. Курсанти з різними нервово-емоційними характеристиками по-різному реагують на ситуацію. Різним повинен бути і підхід ІІІ (табл. 4).

Таблиця 4 – Рекомендації інструктора щодо реакції на поведінку тих, хто навчається

<i>Поведінка тих, хто навчається</i>	<i>Дії інструктора</i>
<i>Той, хто навчається, пасивного типу</i>	
<ul style="list-style-type: none"> – стає мовчазним; – може втратити впевненість в собі; – відмовляється від обговорення ситуації; – виявляє ознаки стресу; – прагне до самоти; – мислення може загальмуватись. 	Заохочувати дискусії по вправі, яка виконується, намагатися шляхом навідних питань отримати висновки щодо помилок, які були скоєні. Добитися розуміння правильних дій і автоматизації їх виконання. Прагнути до взаєморозуміння, підбадьорювати. Давати додатковий час на підготовку до польоту.
<i>Той, хто навчається, активного типу</i>	
<ul style="list-style-type: none"> – стає балакучим; – стараючись аргументувати труднощі, що виникли, критикує все і вся, крім себе; – посилається на те, що «ніхто не казав»; – продовження тапелює до вищих інстанцій. 	Не вплутується в суперечку. На фактах, шляхом демонстрації виконання показувати помилки того, хто навчається. Охолоджувати ситуацію, переконувати м'яко, але настирливо.
<ul style="list-style-type: none"> – звинувачує інструктора, але заочно; – аналізує курс на предмет його цінності. 	Ніколи не треба втрачати контроль над собою. Аргументовано відстоює правильність своєї позиції і методики, що застосовується, якщо є в цьому впевненість.



У зв'язку з використанням різноманітних ТЗН для формування професійних навичок, змінюється характер поведінки тих, хто навчаються. Тому необхідно відповідно змінювати і методику роботи ІІ (табл. 5) [6].

При організації навчання велике значення потрібно надавати самокритичності. Аналіз недбалих результатів і невдач дозволяє виявити їх причини і скоректувати процес ІІ відповідним чином для його поліпшення. Зміни можуть торкатися самої програми, методики її реалізації, часу, що відводиться на підготовку.

Таблиця 5 – Рекомендації з організації ІІІС в залежності від технічних засобів навчання, що використовуються

<i>Особливості поведінки того, хто навчається</i>	<i>Задачі і методи роботи інструктора, що рекомендуються</i>
1	2
1. Організаційний період. Наземна підготовка	
Вивчає обладнання нового для себе повітряного судна (ПС), закладає основу для нових знань і навичок, потребує допомоги інструктора, відчуває себе напружено, особливо при наближенні опитів і заліків.	<ul style="list-style-type: none"> – шукати шляхи налагодження контакту з тим, хто навчається (необхідне терпіння, упевненість, компетентність в питанні, що вивчається); – сприяти активній роботі тих, хто навчаються, відноситись до них дружньо, розуміти їх труднощі
2. Тренування на спеціалізованих тренажерах	
Перевіряє правильність інформації, яка отримується при наземній підготовці, тренується у використанні нового обладнання. Отримує задоволення при успіху, відчуває необхідність в допомозі інструктора, демонструє перед ним старанність і прагнення до успіху, може виявляти нетерпіння. Бажання прискорити процес освоєння, стає нервовим при наближенні заліків.	<ul style="list-style-type: none"> – виявляти терпіння; – надавати активну допомогу; – дозволити тому, хто навчається, помилятися; – прагнути шляхом пояснення і показу відучити від помилок до переходу на комплексний тренажер; – старатися не говорити директивно; – приділяти увагу труднощам, які виникають у того, хто навчається, виявленню їх причин; – залишатися дружнім, уважним до того, хто навчається.
3. Тренування на комплексному тренажері	
Знайомиться з новими операціями, які пов'язують роботу з обладнанням, з управлінням польотом (потрібні натренованість, вправність), потребує допомоги інструктора, однак може виявляти невдоволення при підвищеній увазі до себе, запам'ятовує без аргументації почвання інструктора, порівнює сформовані навички з такими, які потрібні, шукає невідповідність і її причини, може прощати собі помилки, що допускаються.	<ul style="list-style-type: none"> – продовжувати керувати виконанням кожної вправи; – постійно освіжати знання того, хто навчається про розміщення важелів управління (ВУ) підсистемами і порядком їх використання, застосовуючи різні ввідні; – старатися менше втручатися в дії того, хто навчається, привчаючи його до самостійності; – заохочувати дискусії; – демонструвати компетентність.
4. Польоти на навчально-тренувальних літаках	
Відмічається прогрес в навичках. Швидше закріплюються навички, які формуються в останню чергу. Можлива зміна думки, яка виникає в процесі тренування на тренажерах. Нові навички застосовуються з пересторогою, згодом зміцнюється впевненість в собі. Досягнутий необхідний рівень дозволяє перейти до самостійної роботи, при цьому з'являється прагнення досягнути на новому	<ul style="list-style-type: none"> – в ході тренувальних польотів все частіше відходити на другий план і втручатися в управління лише тоді, коли це абсолютно необхідно; – в повному обсязі виконувати обов'язки другого. – пілота, якщо це передбачене завданням враховувати, що можливі зіткнення особистого плану, дотримуватись такту і терпіння, уникати грубощів і сарказму;



Продовження табл. 5

1	2
літаку рівня майстерності, що був на попередньому. Все частіше ухвалює самостійні рішення, приховує свої думки і труднощі від інструктора.	– критика повинна бути дружньою і конструктивною; – не квапити того, хто навчається, при виконанні операцій, це дається практикою.
5. Підсумковий екзаме́н і допуск до самостійних польотів	
Відчуває полегшення, ПІ не потрібен. Як екзаменатор він являє собою загрозу, може виникнути атмосфера антагонізму, після екзамену почуття притуплене або зникає.	– розуміти відповідальність моменту для того, хто навчається; – прагнути пом'якшити напруження, дотримувати вимогливості; – прагнути запам'ятися тому, хто навчається як друг, що надав допомогу в подоланні професійних труднощів, компетентний, чесний, респектабельний.

Заслуговують уваги методи спілкування в колективі інструкторів, незалежність їх поведінки від стресу, загальна доброзичливість і прагнення до успіху. П-І при реалізації програми ПП повинні дотримуватися загального стандарту, щоб не вносити плутанини в знання і навички слухачів. З цією метою доцільно використати дані відеозапису, які можуть бути корисні при тренуванні самих ПІ, а також при розборі процесу навчання, яке проводиться на раді інструкторів. Груповий досвід може допомогти кожному П-І подолати труднощі, які виникають.

«Хибні» навички у тих, хто навчається, можуть бути зумовлені і зайвою лояльністю до помилок, поблажливостю до досвіду попередньої роботи, панібратством. У разі несумісності характерів тих, хто навчається, й інструктора, доцільна заміна останнього.

Висновки. Таким чином, підсумовуючи отримані і подані в цій публікації наукові результати слід констатувати факт дійсної розробки особистісно-орієнтованих рекомендацій з управління ПП АО за ЛЧ. Зокрема, встановлені причини, що перешкоджають процесу формування професійних знань, вмінь, навичок та запропоновані заходи з врахування типологічних особливостей тих, хто навчається. Поділяючи АО на осіб пасивного і активного типу, виявлені характерні особливості їх поведінки в процесі ПП, а також відповідні дії інструктора. Особлива увага приділена етапам ПП майбутніх пілотів, зокрема організаційному періоду (наземна підготовка), тренуванню на спеціалізованих тренажерах, польотах на навчально-тренувальних літаках, підсумковому екзамену на допуск до самостійних польотів тощо. Для кожного з цих етапів визначені характерні особливості тих, хто навчається, а також відповідні методи роботи П-І. Подальші дослідження з індивідуалізації процесів ПП АО слід проводити з урахуванням їх рівнів домагань на множині характеристик та показників професійної діяльності, а також основної домінанти діяльності в умовах ризику.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пономаренко В. А. Человеческий фактор и безопасность полетов / В. А. Пономаренко // Проблемы безопасности полетов : обзорная информация. – М. : ВИНТИ, 1993. – Вып. 1. – С. 36-42.
2. Плотников Н. И. Исследование состоятельности концепции «человеческого фактора» / Н. И. Плотников. // Проблемы безопасности полетов : научно-технический журнал. – М. : ВИНТИ, 2008. – № 11. – С. 27-36.
3. Кросскультурные факторы и безопасность полетов // Человеческий фактор : сборник материалов – № 16 : Сиг. ICAO 302 – AN/375. – Монреаль, Канада, 2004.
4. Горячев В. А. Новый подход к подготовке летного состава за рубежом / В. А. Горячев, Н. Н. Коростелева // Проблемы безопасности полетов : ежемесячный бюллетень. – М. : ВИНТИ, 1988. – № 7. – С. 3-12.
5. Коваленко Г. В., Крыжановский Г. А. Учет человеческого фактора в подготовке летного состава за рубежом // Проблемы безопасности полетов : ежемесяч. реф. сб. – М. : ВИНТИ, 1990. – № 10. – С. 3-22.



6. Рева О. М. Програми і системи навчання льотного складу прийняттю рішень в ведучих авіакомпаніях світу : методичні вказівки до курсу «Основи теорії прийняття рішень» / О. М. Рева. – Кіровоград : ДЖАУ, 1996. – 19 с.
7. Рева О. М. Досвід ІКАО і провідних авіакомпаній світу щодо врахування людського фактору та індивідуалізації професійної підготовки льотного персоналу / О. М. Рева, Г. О. Рева, А. А. Чабак // Проблеми освіти : науково-методичний збірник. – Вип. 34. – К. : Науково-методичний центр вищої освіти, 2003. – С. 56-71.
8. Плотников Н. И. Ресурсы воздушного транспорта / Н. И. Плотников. – Новосибирск : Академия экономики и управления, 2003. – 328 с.
9. Рева А. Н. Человеческий фактор и безопасность полетов : (Проактивное исследование влияния) : монография / А. Н. Рева, К. М. Тумышев, А. А. Бекмухамбетов; науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумышев. – Алматы : КазГУ, 2007. – 242 с.
10. Фундаментальные концепции человеческого фактора // Человеческий фактор : Сборник материалов № 1. – Циркуляр ИКАО 216 AN/131. – Монреаль, Канада, 1989. – 34 с.
11. Руководство по предотвращению авиационных происшествий. – Док. ИКАО 9422-AN/923. – Монреаль, Канада, 1984. – 144 с.
12. Рева О. М. Характеристика ергатичної системи «інструктор – авіаційний тренажер – льотний екіпаж» / О. М. Рева, О. М. Дмитрієв, О. М. Медведенко, О. Я. Біло // Авіаційно-космічна техніка і технологія : наук.-техн. ж. – Х. : Національний аерокосмічний ун-т «ХАІ», 2009. – № 7. – С. 175-187.
13. Погребняк В. И. Учет человеческого фактора при обучении летного состава / В. И. Погребняк // Проблемы безопасности полетов : ежемесячный бюллетень. – М. : ВИНТИ, 1982. – № 3. – С. 51-58.
14. Рева А. Н. Оптимизация профессиональной деятельности инструктора авиационного тренажера : научно-практические рекомендации / А. Н. Рева, В. А. Горячев, В. А. Кузнецов и др.; под ред. А. Н. Рева, В. А. Бодрова. – М. : ИПАН, 1990. – 125 с.
15. Недбай С. В. Системологія невизначеності процесів льотної експлуатації повітряних суден / С. В. Недбай // Авіаційно-космічна техніка і технологія : наук.-техн. журнал. – Харків : Харківський національний аерокосмічний університет «ХАІ», 2010. – № 7. – С. 135-146.
16. Камишин В. В. Методи системного аналізу у кваліметрії навчально-виховного процесу: монографія. – К. : Інформаційні системи, 2012. – 270 с.
17. Шпаченко Д. И. Методы изучения индивидуальных психологических особенностей курсантов летных училищ / Д. И. Шпаченко. – Ростов-на-Дону, 1976. – 72 с.
18. Вопросы морально-политической и психологической подготовки летного состава / под ред. А. И. Белова. – Ростов-на-Дону, 1982. – 126 с.
19. Руководство по обучению. Док. ICAO 7192-AN/857. – Ч. А-1. Общие положения. – Монреаль, Канада, 1975. – 58 с.

Камишин В.В. СИСТЕМНАЯ ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ АВИАЦИОННЫХ ОПЕРАТОРОВ

Учитывая позитивное влияние уровня профессиональной подготовки авиационных операторов на безопасность полетов, рассмотрены факторы, которые препятствуют активному и эффективному формированию соответствующих знаний, умений и навыков. Разработаны и представлены рекомендации по учету в процессе подготовки типологических особенностей, активности (пассивности) поведения, а также этапов подготовки обучаемых.

Ключевые слова: безопасность полетов, авиационный оператор, уровень профессиональной подготовки, характеристики поведения обучаемых и реакций инструктора.

Kamyshyn V.V. SYSTEM INDIVIDUALIZATION OF PROFESSIONAL AIRCRAFT OPERATORS TRAINING PROCESSES

Taking into account the positive influence of professional aircraft operators level training on flight safety, the factors that prevent an active and effective formation of appropriate knowledge, competencies and skills were considered. The recommendations on consideration of typological features in the process of preparation, behavior activity (inactivity) and the stages of students preparation were developed and presented here.

Keywords: flight safety, aircraft operator, level of professional training, characteristics of students' behavior and instructor's reactions.



ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНО ЗНАЧИМИХ УМІНЬ ПРИ ВИВЧЕННІ КУРСУ «СФЕРИЧНА ТРИГОНОМЕТРІЯ» У ВНЗ МОРСЬКОГО ПРОФІЛЮ

Лисенко В.І.

Херсонська державна морська академія

У статті розкриті можливості цілеспрямованої підготовки курсантів і студентів до вивчення фахових дисциплін, зокрема навігації, морехідної астрономії та судноводіння. За допомогою спеціально складеної системи підготовчих завдань, курсанти не просто розв'язують сферичні трикутники, наприклад за двома сторонами та кутом між ними, а обчислюють висоту та азимут світла, яке спостерігається на заданій широті; початковий курс судна та шлях, пройдений по ортодромії та ін.

Ключові слова: локсодромія та ортодромія, азимут та початковий курс судна.

Постановка проблеми. Застосування природничо-математичних знань практично у всіх сферах діяльності людини та високий темп розвитку суспільства ставить перед системою освіти завдання – сформуванню творчої особистості, бо саме вона готова до постійних змін у технологіях в будь-якій сфері діяльності.

Однією з характерних рис творчої особистості є вміння самостійно одержувати знання, застосовувати їх у нових і нестандартних ситуаціях та при розв'язуванні прикладних задач. Необхідною умовою для таких дій є:

- оволодіння набором способів діяльності по самостійному одержанню знань;
- засвоєння не тільки окремих змістовних ліній кожної з навчальних дисциплін, а системи знань, що сприяє підготовці до розв'язування задач, пов'язаних з майбутньою професійною діяльністю.

Як підтверджує практика, найбільш ефективно здійснюється формування прийомів евристичної діяльності за допомогою спеціально складеної системи завдань.

У ХДМА протягом останніх шести років курсанти денної і студенти заочної форм навчання вивчали спецрозділ вищої математики «Сферична тригонометрія». Весь час здійснювався пошук шляхів підвищення ефективності формування професійно значимих знань і умінь.

Метою нашого дослідження є виявлення і створення умов ефективного використання міжпредметних зв'язків для розвитку особистості майбутнього фахівця через професійну спрямованість у викладанні сферичної тригонометрії, навігації, судноводіння та морехідної астрономії.

Досягнення поставленої мети вимагало розв'язання таких завдань:

- проаналізувати, які поняття сферичної тригонометрії знаходять застосування у морехідній астрономії, навігації та судноводінні;
- встановити, які з них при вивченні спеціальних дисциплін зазнають розширення та уточнення;
- виявити, при розв'язанні яких задач у фахових дисциплінах використовується паралактичний трикутник;
- проаналізувати задачі на обчислення, які розв'язують при вивченні фахових дисциплін та встановити, які з них можна розв'язувати при вивченні сферичної тригонометрії.

В результаті проведених досліджень було встановлено перелік питань сферичної тригонометрії, при вивченні яких доцільно розв'язувати простіші задачі, пов'язані з професійною діяльністю (табл. 1).



Таблиця 1 – Перелік питань сферичної тригонометрії, при вивченні яких доцільно розв'язувати задачі, пов'язані з професійною діяльністю

№	Поняття сферичної тригонометрії	Їх застосування при вивченні фахових дисциплін
1	Найкоротша відстань між двома точками на сфері.	Поняття ортодромії та локсодромії у навігації та судноводінні.
2	Сферичний кут.	Істинний курс та істинний пеленг судна; початковий курс судна при русі по ортодромії; азимут світила та ін.
3	Географічні координати пункту (точки) на земній кулі.	Обчислення різниці широт та різниці довгот при розміщенні пунктів в одній та різних півкулях.
4	Паралактичний трикутник.	Обчислення довжини ортодромії та початкового курсу при плаванні по ортодромії і т.д.
5	Розв'язування сферичних трикутників.	Розрахунки довжини ортодромії та початкового курсу плавання по ортодромії; азимута та висоти світила та ін..

Розв'язування професійно-орієнтованих завдань при вивченні сферичної тригонометрії сприяє підвищенню мотивації навчання, викликає інтерес до розглядуваних питань, сприяє активізації пізнавальної діяльності курсантів та студентів

Щоб полегшити курсантам пошук необхідних формул для розв'язання сферичного трикутника, на заняттях зі спецкурсу їм пропонували такі довідкові матеріали: умови існування сферичних трикутників; основні типи задач на розв'язування сферичних трикутників (за трьома сторонами, трьома кутами, двома сторонами та кутом між ними); перетворення деяких співвідношень між сторонами та кутами сферичних трикутників тощо (табл. 2).

Таблиця 2 – Приклад розв'язання сферичних трикутників

Дано	Знайти	Формули для обчислення шуканих елементів
Дві сторони та кут між ними: а) a, b, C	Сторону c , кути A, B .	$\cos c = \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C.$ $(6): ctg A \cdot \sin C = ctg a \cdot \sin b - \cos b \cdot \cos C,$ $ctg A = \frac{ctg a \cdot \sin b - \cos b \cdot \cos C}{\sin C}.$ $ctg B \cdot \sin C = ctg b \cdot \sin a - \cos a \cdot \cos C,$ $ctg B = \frac{ctg b \cdot \sin a - \cos a \cdot \cos C}{\sin C}.$
б) b, c, A	Сторону a , кути B, C .	$(2): \cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A.$ $(6): ctg B \cdot \sin A = ctg b \cdot \sin c - \cos c \cdot \cos A,$ $ctg B = \frac{ctg b \cdot \sin c - \cos c \cdot \cos A}{\sin A}.$ $ctg C \cdot \sin A = ctg c \cdot \sin b - \cos b \cdot \cos A,$ $ctg C = \frac{ctg c \cdot \sin b - \cos b \cdot \cos A}{\sin A}.$
в) a, c, B .	Сторону b , кути A, C .	$(2): \cos b = \cos a \cdot \cos c + \sin a \cdot \sin c \cdot \cos B.$ $(6): ctg A \cdot \sin B = ctg a \cdot \sin c - \cos c \cdot \cos B,$ $ctg A = \frac{ctg a \cdot \sin c - \cos c \cdot \cos B}{\sin B}.$ $ctg C \cdot \sin B = ctg c \cdot \sin a - \cos a \cdot \cos B,$ $ctg C = \frac{ctg c \cdot \sin a - \cos a \cdot \cos B}{\sin B}.$



На заключному етапі вивчення теми «Розв’язування сферичних трикутників» користувались складеними програмами, що дозволило курсантам за короткий проміжок часу розв’язати задачі різних типів.

Використання на заняттях мультимедійних засобів дозволяє знайомити курсантів з наочним поданням таких понять, як ортодромія, локсодромія, істинний курс та істинний пеленг судна та ін. (рис. 1-3).

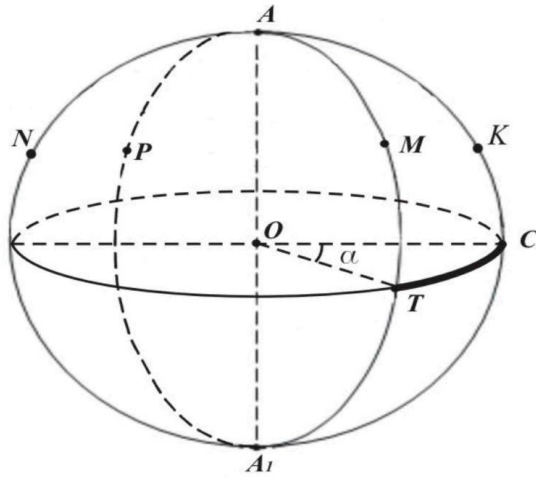


Рисунок 1 – Відстань між двома точками на сфері

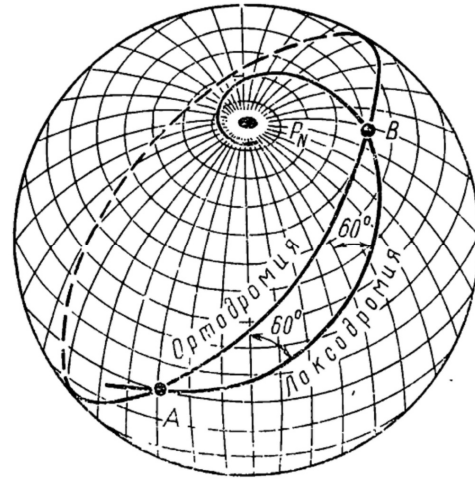


Рисунок 2 – Ортодромія та локсодромія

При введенні поняття дуги великого та малого кіл, ми давали визначення ортодромії та локсодромії.

Якщо судно при плаванні між двома пунктами йде постійним курсом, то воно перетинає всі меридіани під одним і тим самим кутом. Лінію, яка перетинає всі меридіани під одним і тим самим кутом, називають локсодромією. Локсодромія не є найкоротшим шляхом між двома пунктами.

Найкоротшою відстанню між вибраними точками є дуга великого кола, що з’єднує ці точки і менша 180° . Її називають ортодромією. Ортодромія перетинає всі меридіани під різними кутами (рис. 2).

При введенні поняття сферичного кута в курсі сферичної тригонометрії, ми знайомили курсантів з поняттями істинного курсу судна та істинного пеленга.

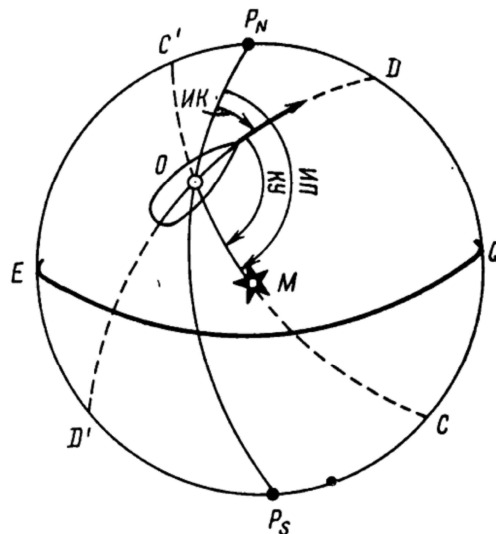


Рисунок 3 – Істинний курс та істинний пеленг



У навігації постійно доводиться визначати напрям руху судна, а також напрям на видимі з судна орієнтири. Напрямок руху судна визначається двограним кутом між північною частиною істинного меридіана $P_N P_S$ і діаметральною площиною судна DD' . Площину, яка проходить через вісь Землі і місце спостерігача (судна), називають площиною істинного меридіана (рис. 3).

Наведення такої інформації, дозволяє обговорювати з курсантами питання типу:

- 1) при якому значенні істинного курсу судно рухається по паралелі? (по меридіану?);
- 2) чи є такі курси руху судна, на яких рух по локсодромії співпадає з рухом по ортодромії?

Розв'язування сферичних трикутників в курсі сферичної тригонометрії не самоціль. Головне завдання – навчити застосовувати сферичні трикутники до розв'язування прикладних задач. Тому, після вивчення теми «Географічні координати пункту на Земній кулі» доцільно пропонувати наступні професійноорієнтовані завдання:

1. В задачах 1-3 (табл. 3) за географічними координатами пункту відправлення судна $A(\varphi_1, \lambda_1)$ та пункту прибуття $B(\varphi_2, \lambda_2)$, визначити довжину ортодромії D_0 та початковий курс руху по ортодромії K_n (рис. 4).

Таблиця 3 – Прикладні задачі до вивчення теми «Географічні координати пункту на Земній кулі»

№	φ_1	λ_1	φ_2	λ_2
1	$32^\circ 20' N$	$20^\circ 15' W$	$70^\circ 05' N$	$50^\circ 32' E$
2	$20^\circ 34' N$	$30^\circ 21' E$	$56^\circ 16' N$	$81^\circ 32' E$
3	$57^\circ 19' N$	$32^\circ 50' W$	$24^\circ 18' N$	$60^\circ 19' E$

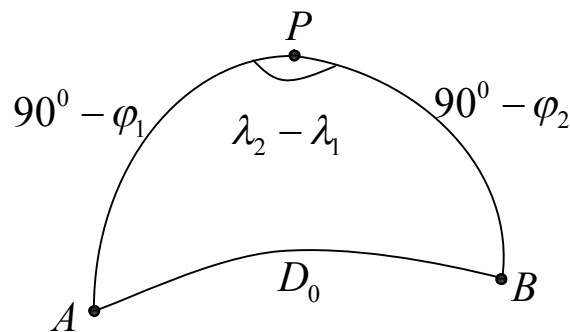


Рисунок 4 – Задача за географічними координатами пункту відправлення судна

Примітка. При обчисленні початкового курсу плавання по ортодромії доцільно формулу $ctg K_n = tg \varphi_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \operatorname{cosec}(\lambda_2 - \lambda_1) - \sin \varphi_1 \cdot ctg(\lambda_2 - \lambda_1)$ перетворити до виду

$$tg K_n = \frac{\sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{tg \varphi_2 \cdot \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (1)$$

2. Якщо при обчисленні початкового курсу плавання виявиться, що $tg K_n < 0$, то до одержаного значення K_n слід додати 360° . Так отримане значення і буде шуканим K_n .

Після розгляду в курсі сферичної тригонометрії теми «Визначення положення світила на небесній сфері у системі горизонту та у першій екваторіальній системі», доцільно запропонувати систему завдань наступного типу:

В задачах 4-7 (табл. 4) розв'язати паралактичний трикутник (рис. 5), знайти висоту h та азимут A світила, знаючи екваторіальні координати світила та географічні координати спостерігача.



Таблиця 4 – Прикладні задачі до вивчення теми «Географічні координати пункту на Земній кулі»

№	φ	δ	t
4	55°40'N	58°06'N	100°20'W
5	43°22'N	13°15'N	68°14'E
6	25°24'N	16°35'N	21°46'W
7	71°25'N	15°54'N	16°35'E

Аналогічно, при обчисленні азимута світила, доцільно формулу $ctg A = tg \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos ec t - \sin \varphi \cdot ctg t$ перетворити до виду

$$tg A = \frac{\sin t}{tg \delta \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos t} \quad (2)$$

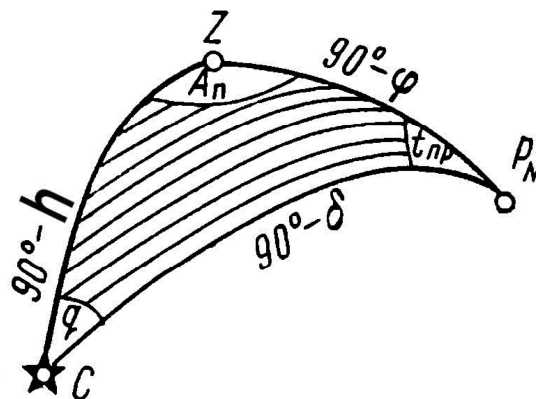


Рисунок 5 – Задача з визначення положення світила на небесній сфері у системі горизонту та у першій екваторіальній системі

Примітка. Якщо при обчисленні азимута світила виявиться, що $tg A < 0$, то до одержаного результату слід додати 180° . Отриманий так результат і буде значенням азимуту при півкруговому рахунку.

Висновки та пропозиції:

1. Розв'язування професійно-орієнтованих завдань при вивченні сферичної тригонометрії сприяє підвищенню мотивації навчання, викликає інтерес до розглядуваних питань, сприяє активізації пізнавальної діяльності курсантів та студентів.

2. Врахування характеру міжпредметних зв'язків (випереджувальне вивчення, паралельне чи вивчення фахових дисциплін здійснюється пізніше), та використання мультимедійних засобів, сприятиме засвоєнню не тільки окремих змістовних ліній кожної з навчальних дисциплін, а системи знань.

3. Оволодіння курсантом (студентом) системою знань забезпечує його підготовку до розв'язування задач, пов'язаних з майбутньою професійною діяльністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Титов Р. Ю., Файн Г. И. Мореходная астрономия : учебник для мореходных училищ. – М. : Транспорт, 1984. – 252 с.
2. Ляльков Э. П., Васин А. Г. Навигация : учебник для средних уч. завед. мор. трансп. – М. : Транспорт, 1981. – 349 с.
3. Сокол И. В., Пятаков Э. Н. Основы мореходной астрономии. – Херсон : ОЛДИ, 2006. – 208 с.



4. Лисенко В. І. Методичні рекомендації до самостійної та індивідуальної роботи курсантів та студентів зі спецрозділу вищої математики «Сферична тригонометрія». – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – 62 с.

Лысенко В.И. ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ УМЕНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КУРСА «СФЕРИЧЕСКОЙ ТРИГОНОМЕТРИИ» В ВУЗАХ МОРСКОГО ПРОФИЛЯ

В статье раскрыты возможности целенаправленной подготовки курсантов (студентов) к изучению профессиональных дисциплин, в частности навигации, судовождения и мореходной астрономии. С помощью специально составленной системы подготовительных заданий, курсанты не просто решают сферические треугольники, например по двум сторонам и углу между ними, а находят высоту и азимут светила, наблюдаемого в указанных широтах, вычисляют начальный курс судна и пройденное расстояние по ортодромии и др.

Ключевые слова: локсодромия, ортодромия, азимут, начальный курс судна.

Lysenko V.I. FORMATION OF PROFESSIONAL SIGNIFICANT SKILLS WHEN STUDYING THE COURSE «SPHERICAL TRIGONOMETRY» AT MARITIME EDUCATIONAL INSTITUTIONS

The article describes the opportunities of object-oriented preparing cadets and students for studying professional disciplines including navigation and nautical astronomy. With the help of specifically prepared training system cadets don't only solve spherical triangles by two legs and angle between them, but learn how to estimate the altitude and azimuth of the star spied in defined latitudes, initial course and the distance logged on orthodromic route etc.

Keywords: loksodromiya, great circle route, azimuth, initial course of the vessel.



РОЗРОБКА МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕДУР ДІАГНОСТИКИ І КОРЕКЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ СТРАТЕГІЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ АВІАДИСПЕТЧЕРАМИ

Рева О.М.

Кіровоградський національний технічний університет,

Мирзоєв Б.М., Насіров Ш.Ш.

*Головний центр Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS,
Азербайджанська Республіка, м. Баку,*

Мухтаров П.Ш.

Національна академія авіації, Азербайджанська Республіка, м. Баку

Враховуючи вплив людського чинника на безпеку польотів при управлінні повітряним рухом, уперше розроблений новий діагностичний і корекційний механізм проактивного дослідження небезпечних стратегій поведінки оперативного, мислення та прийняття рішень. Професійні ситуативні вправи, що для цього розроблені не мають правильних відповідей, що сприятиме щирості відповідей авіадиспетчерів. Виявлену таким чином структуру переваг запропоновано аналізувати разом з результатами психологічної діагностики небезпечних властивостей.

Ключові слова: людський чинник, безпека польотів, авіадиспетчери, небезпечні властивості поведінки, оперативного мислення та прийняття рішень, професійні ситуативні вправи.

Вступ. Останні десятиліття людський чинник (ЛЧ) є головним об'єктом досліджень в системі заходів забезпечення безпеки польотів (БП) [1]. Існування цієї проблеми визнала Асамблея ІКАО, яка в 1986 р. прийняла резолюцію А26-9 «Безпека польотів і людський чинник». Задля її виконання Аеронавігаційна комісія сформулювала мету цієї задачі таким чином: «Підвищити безпеку в авіації, для чого ширше інформувати держави про роль людського чинника з метою усвідомлення ними його важливості при виконанні польотів повітряних судів цивільної авіації, розробити для них практичний матеріал і заходи, пов'язані з людським чинником, з урахуванням досвіду держав, а також розробити і рекомендувати відповідні поправки до існуючого матеріалу в Додатках та інших документах, що стосуються ролі людського чинника в нинішніх і майбутніх умовах експлуатації. Особлива увага буде приділена аспектам людського чинника, від яких можуть залежати конструкція, перехід і експлуатація майбутніх систем CNS/АТМ ІКАО».

Актуальність досліджень. У вирішенні проблем ЛЧ важливу роль грає питання щодо виявлення осіб льотного і диспетчерського персоналу, схильних до порушень і провокуючих виникнення авіаційних пригод (АП) або, скажімо, потенційно-конфліктних ситуацій (ПКС) в повітряному просторі при управлінні повітряним рухом (УПР). Цю природу авіаційних операторів (АО) називають «психофізіологічними небезпечними чинниками польоту» (ПНЧП). Класифікація ПНЧП містить чотири групи з 42 небезпечних чинників і практичні рекомендації їх подолання [2]. Контрольний перелік FSF містить близько 150 небезпечних чинників, структурованих у вісім груп на психологічному, професійному і організаційному рівнях [3]. Останні «кількісні досягнення» налічують вже 1800 чинників [4]. Їх природа украй різноманітна і насилу піддається раціональному опису і розрахункам. Традиційні методи і практика дослідження помилок є суперечливими, викликають сумніви відносно їх істинності.

З аналізу наукових джерел [5-11] витікає, що такі «аварійники» дійсно зустрічаються серед АО (авіадиспетчерів (А/Д), пілотів), причому в будь-якій репрезентативній вибірці їх представництво складає 2-4 % [12]. Достатньо сказати, що тільки за даними експертів фірми Boeing 12 % пілотів є винуватцями 92 % АП [6].

Зручним механізмом діагностики «аварійників» є аналіз професійної діяльності АО за допомогою небезпечних властивостей (якостей, стратегій, відношень) поведінки, оперативного мислення та прийняття рішень (ПР), що були відокремлені американськими вченими з ірраціональної сторони професійних розумових здібностей



пілотів (табл. 1) [13, 14]. Було розроблено спеціальне Керівництво з навчання молодих пілотів ПР (ERAU), де за допомогою професійних ситуативних вправ, що описують різноманітні польотні ситуації здійснюються діагностика і корекція цих небезпечних стратегій (табл. 2). За прогнозними даними експертів повсюдне впровадження такого Керівництва в практику професійної підготовки пілотів має зменшити кількість АП за ЛЧ на 5-20 % [15]. Причому в «прокрустове ліжко» прояву небезпечних якостей чітко укладається пояснення неправильної поведінки людини в будь-якій ситуації вибору. Однак, якщо для психологічної діагностики небезпечних властивостей розроблений відповідний тест REDID, який за результатами пілотної апробації визнаний надійним і валідним і застосовується для обстежень АО, аналогу зазначеного Керівництва ERAU для А/Д не існує.

Таблиця 1 – Перелік і характеристика небезпечних стратегій (якостей, відношень) поведінки, оперативного мислення та прийняття рішень

№	Стратегія	Ознаки стратегій
1	Ігнорування (недовір'я нетерпимість до авторитетів): «Не командуйте!»	Ця якість виявляється у людей, які не терплять, щоб хто-небудь робив їм зауваження або давав вказівки, що і як робити. Вони вважають: «Ніхто мені не указ!», «для мене закон не писаний!». Людина, така мисляча, буває обуреною тим, що хтось командує нею або підказує, яких правил або норм вона повинна дотримуватися.
2	Імпульсивність: «Роби що-небудь швидше!»	Така послідовність думок спостерігається у людей, які часто відчують необхідність терміново щось зробити. Вони не зупиняються, щоб проаналізувати власні дії, не вибирають якнайкращий варіант, але роблять перше, що прийде їм в голову.
3	Невразливість: «Зі мною нічого не може трапитися!»	Багато людей вважають, що всі нещастя відбуваються з іншими, а з ними нічого подібного відбутися не може. На рівні теоретичного знання вони розуміють, що неприємності можуть відбутися з кожним, але якась внутрішня упевненість не дозволяє їм віднести це знання до себе. Людина, що так вважає, з великою імовірністю може потрапити в ризиковану ситуацію.
4	Самовпевненість (схильність до позаситуативного ризику, молодецтво, мачо): «Це я можу!»	Мова йде про людей, які завжди прагнуть довести собі або іншим, що вони кращі і більш здатні отримати позитивний результат, ніж про них думають або навіть можуть подумати. Вони доводять це, ризикуючи і прагнучи справити враження.
5	Покірність, упокорювання: «Навіщо? Яка користь?»	Люди, які так думають, не приписують собі заслуг в тому, що з ними відбувається. Якщо їм добре, вони говорять: «Повезло!». Якщо справи кепські, тоді приписують це невдачі. Вони схильні давати можливість діяти іншим, але часто можуть зробити щось «за компанію» або підкорятися нетямущому розпорядженню.

Постановка задачі. Таким чином, враховуючи незвичайно високий позитивний вплив на БП процедур діагностики і корекції небезпечних стратегій ПР у пілотів, метою цієї публікації є розробка спеціальних ситуативних вправ, що охоплювати б професійну діяльність вже А/Д. Тим більше, що А/Д за впливом на БП останнім часом теж віднесені до категорії «операторів переднього краю» [16]. З іншого боку, враховуючи, що професійна діяльність А/Д може розглядатися як безперервний ланцюг рішень, що мають вироблятися і реалізуватися згідно діючих нормативів [17] в явних і неявних формах, тим більше в умовах впливу ризиків стохастичної і нестохастичної природи, мова йде про дослідження та опис нестикання блоків «людина – процедури» моделі SHELL, що рекомендується ІКАО для вивчення структури ЛЧ (рис. 1) [18, 19].



Таблиця 2 – Керівництво ERAU (фрагмент)

Зміст ситуативної вправи	Варіант відповіді	Якість, що діагностується
Ваш тривалий політ добігає кінця. З аеропорту призначення повідомляють: нижня кромка хмарності 800 футів, видимість ½ милі, туман, серпанок. Ви тільки що почули, як іншому повітряному судну не вдалося провести захід на посадку (мінімум для інструментального заходу 200 на ½). Проте Ви вирішуєте спробувати зайти на посадку по ІЛС. Чому Ви прийняли таке рішення?	Розрахунки хмарності і видимості часто неточні.	Ігнорування
	Ви втомилися і просто хочете приземлитися зараз.	Імпульсивність
	Вам завжди раніше вдавалося виконувати заходи на посадку при таких метеоумовах.	Невразливість
	Ви досвідченіший пілот, ніж той, хто тільки що не зумів виконати захід на посадку.	Самовпевненість
	Я ж не зможу змінити погоду, чом би не спробувати зайти на посадку?	Покірність

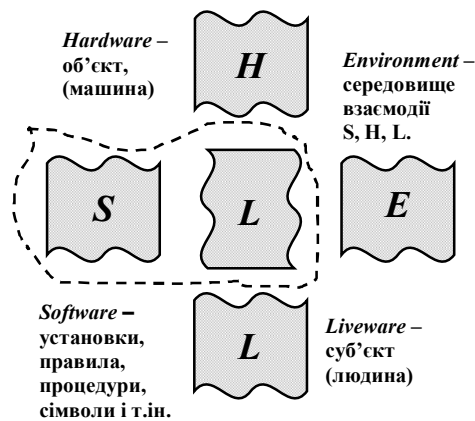


Рисунок 1 – Взаємодія інтерфейсів моделі SHELL

Результати досліджень. Отже, розробка професійних ситуативних вправ діагностики і корекції небезпечних стратегій ПР А/Д в процесі безпосереднього управління повітряним рухом (УПР) має важливе значення для забезпечення БП по ЛЧ в аеронавігаційних системах. Привертаючи увагу до того, що людині дійсно «властиво помилятися» [20; 21], акцентується увага на тому, що помилки АО можуть бути наслідком організаційних, нормативних, культурологічних чинників, а також чинників виробничого середовища. На рис. 2 подані узагальнені ІКАО деякі чинники, що сприяють виникненню помилок авіаційних операторів і, як наслідок, – АП [21].

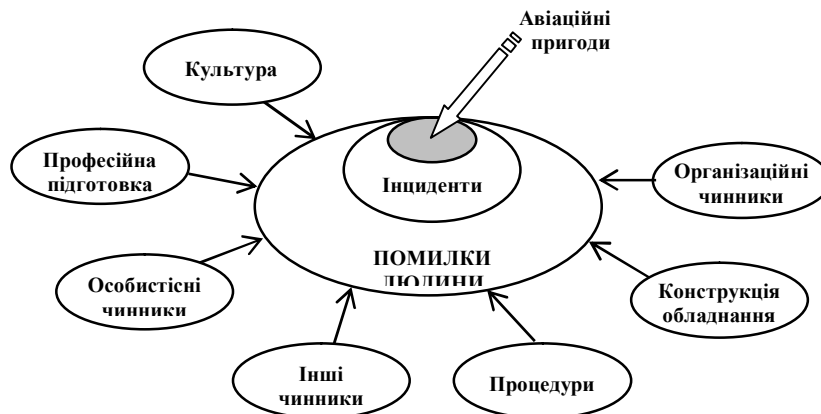


Рисунок 2 – Чинники, що сприяють виникненню помилок людини в авіаційних системах



Слід зазначити, що під час безпосереднього УПР на А/Д діють чинники загроз, що суттєво і негативно впливають на БП (табл. 3) [22]. Як можна побачити з табл. 3, загрози при УПР поділені на чотири категорії. Їх знання сприятимиме здійсненню заходів як окремими А/Д, так і керівництвом аеронавігаційних систем відповідних заходів для підтримки порогового рівня БП.

Таблиця 3 – Чинники загроз при управлінні повітряним рухом

<i>Чинники загроз</i>			
<i>Внутрішні погрози для ATSP</i>	<i>Зовнішні погрози для ATSP</i>	<i>Погрози в повітрі</i>	<i>Погрози, що пов'язані з навколишнім середовищем</i>
Обладнання	Планування аеропорта	Пілоти	Погода
Фактори робочого місця	Навігаційні засоби	Льотно-технічні характеристики повітряного судна	Географічні умови
Процедури	Інфраструктура / конфігурація повітряного простору	Радіотелефонний зв'язок	
Інші авіадиспетчери	Суміжні органи УПР	Повітряний рух	

Таблиця 4 – Характерні помилки авіадиспетчерів в процесі безпосереднього управління повітряним рухом

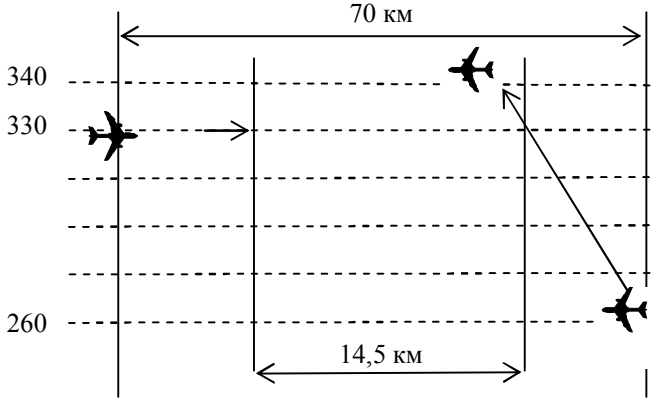
<i>П_i</i>	<i>Зміст помилки</i>
П ₁	Порушення фразеології радіообміну
П ₂	Неузгодженість входу повітряного судна в зону суміжного управління повітряним рухом
П ₃	Порушення побіжних часових інтервалів
П ₄	Порушення зустрічних часових інтервалів
П ₅	Порушення інтервалів між повітряними судами, які знаходяться на курсах, що перетинаються
П ₆	Безадресна передача повідомлень авіадиспетчером
П ₇	Помилка у визначенні позивного повітряного судна
П ₈	Помилка в ідентифікації повітряного судна
П ₉	Помилкове використання диспетчерського графіку
П ₁₀	Відсутність на стріпі позначки авіадиспетчера про передачу управління суміжному диспетчерському пункту
П ₁₁	Відсутність на стріпі позначки диспетчера щодо узгодження входу повітряного судна в зону управління повітряним рухом суміжного диспетчерського пункту
П ₁₂	Порушення авіадиспетчером узгодженого географічного рубежу передачі управління повітряним рухом
П ₁₃	Порушення авіадиспетчером узгодженого часового рубежу передачі управління повітряним рухом
П ₁₄	Недбалість в нанесенні на стріп літерно-цифрової інформації (можливість двоякої інтерпретації)
П ₁₅	Неекономічне управління повітряним рухом
П ₁₆	Порушення процедури прийому і здачі чергування
П ₁₇	Не відображення на стріпі виданих команд щодо зміни висоти або напрямку польоту
П ₁₈	Спроба керувати повітряним судном після спрацьовування на ньому системи TCAS режимі resolution advice
П ₁₉	Помилки вводу інформації про повітряне судно в автоматизовану систему
П ₂₀	Порушення технології праці при особливих випадках у польоті
П ₂₁	Порушення в використанні повітряного простору

Виходячи з наведеного та враховуючи загальносвітову та регіональну статистику АП та потенційно-конфліктних ситуацій при УПР, що відбулись з причин саме ЛЧ, був розроблений перелік з n=21 характерних помилок А/Д під час безпосереднього УПР, який на відміну від існуючих найбільш повно і всебічно висвітлює їх неправильні рішення та



дії (табл. 4). Далі, спираючись на багатий особистий досвід практичної і інструкторсько-методичної роботи Б.М. Мірзоєва, Ш.Ш. Насирова і П.Ш. Мухтарова, співавторів цієї доповіді, під керівництвом проф. О.М. Реви подані у табл. 4 помилки були інтерпретовані авторами з позицій прояву небезпечних стратегій поведінки оперативного мислення і ПР і покладені в основу 20 професійних ситуативних вправ, що були розроблені (табл. 5).

Таблиця 5 – Приклад ситуативної вправи діагностики і корекції небезпечних стратегій прийняття рішень авіадиспетчерами в процесі управління повітряним рухом

Зміст ситуативної вправи	Варіант відповіді	Стратегія, що діагностується
<p>Два повітряні судна виконують політ по пересічних треках. ПС Ту-154 – на FL 330, ПС В-737 – на FL 260. Пілот В-737 робить запит щодо переходу на ешелон FL 340. Відстань між ПС складає 70 км. Диспетчер ПС-2 видає дозвіл займати FL 340. У момент перетину зайнятого FL 330 відстань між ПС складала 14,5 км (у той час як нормативно встановлено, що в момент перетину FL 330 відстань між ПС має складати 30 км).</p> 	<p>Розробник таких нормативів, ніколи не сидів за диспетчерським пультом. Відстань в 30 км (за документами) дуже завищена, літаки зможуть чудово розійтися і на 10 км.</p>	Ігнорування
	<p>Пілот чекає відповіді, я повинен видати команду негайно.</p>	Імпульсивність
	<p>Я вже багато раз дозволяв заняття ешелону в таких умовах, ешелонування не може бути порушене.</p>	Невразливість
	<p>Я не можу припуститися помилки! Все буде добре, він встигне зайняти ешелон.</p>	Самовпевненість
	<p>Це ж пілот сам запитав ешелон, я його не примушував.</p>	Упокорювання

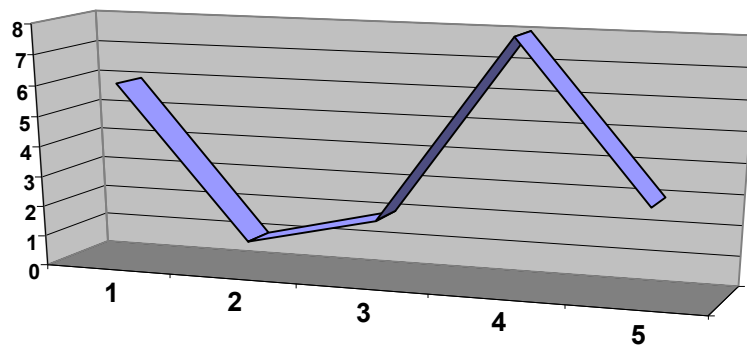


Рисунок 3 – Розподіл результатів тестування диспетчера N для діагностики небезпечних стратегій за допомогою професійних вправ: 1 – ігнорування; 2 – імпульсивність; 3 – невразливість; 4 – самовпевненість; 5 – покірність

Слід звернути увагу, що, оскільки у варіантах відповідей немає жодного правильного, про що випробовувані А/Д відразу ж повідомляються, то, по-перше, підвищується ширість відповідей, адже вони вже не замислюються над їх «правильністю» з погляду можливого соціального покарання за «неправильний». По-друге, істотно розширюються уявлення А/Д про можливі неправильні дії, чим реалізується стародавній принцип «*Praemonitus praeminitus* («Попереджений, отже, озброєний»)). По-суті, мова дійсно йде про проактивне врахування впливу ЛЧ на БП.

Вкажемо також, що реалізація вказаного підходу під час професійної



підготовки А/Д сприятимиме усуненню нестикових сполучення «людина – процедури (правила)» моделі SHELL ІКАО, що подана на рис. 1 і рекомендується для оптимізації процесів функціонування авіаційних ергатичних систем за ЛЧ. Рис. 3 наочно ілюструє можливі результати тестування деякого А/Д N задля виявлення його структури переваг на небезпечних стратегіях ПР.

Висновки. Узагальнюючи отримані і подані в цій доповіді нові наукові результати, вкажемо на розробку нового діагностичного і корекційного механізму проактивного попередження негативного впливу ЛЧ при УПР на БП. А саме, враховуючи провідний досвід, уперше у світі розроблений прототип Керівництва для навчання А/Д ПР, коли для розв'язання професійних ситуативних вправ їм пропонується користуватися виключно неправильними рішеннями. Такий підхід формує знання, вміння, навички розпізнавання помилкових рішень та їх запобігання під час реального УПР. Причому зазначені вправи можна застосовувати і для навчання А/Д розпізнавання небезпечних стратегій. Таким чином, йдеться про дійсну реалізацію політики ІКАО та ЄВРОКОНТРОЛЮ щодо здійснення проактивного впливу ЛЧ на БП.

Подальші дослідження слід проводити в напрямку апробації і вдоконалення зазначеного Керівництва з ПР шляхом встановлення надійності та валідності відповідних ситуативних вправ. З іншого боку, відповідні результати слід пов'язати з даними психологічної діагностики небезпечних властивостей за допомогою теста REDID.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Человеческий фактор в системе мер безопасности гражданской авиации : Doc. ICAO 9808–AN/765. – Монреаль, Канада, 2002.
2. Козлов В. В. Человеческий фактор : история, теория и практика в авиации / В. В. Козлов. – М. : Полиграф, 2002. – 280 с.
3. Shappell S. A. The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) / S. A. Shappell, D. A. Wiegmann // FSF Flight Safety Digest. – 2001, Feb. – P. 15-28.
4. Плотников Н. И. Исследование состоятельности концепции «человеческого фактора» / Н. И. Плотников // Проблемы безопасности полетов : научно-технический журнал. – М. : ВИНТИ, 2008. – № 11. – С. 27-36.
5. Курашвили В. А. Некоторые вопросы профессионального отбора и психологической подготовки летного состава / В. А. Курашвили, Д. И. Шпаченко, Л. И. Туркаль // Проблемы безопасности полетов : Ежемесячный бюллетень. – М. : ВИНТИ, 1984. – № 8. – С. 35-41.
6. Плотников Н. И. Зарубежная практика профессиональной подготовки летного персонала : обзорная информация / Н. И. Плотников. – М. : ЦНТИГА, 1989. – 42 с.
7. Бондарчук И. Е. О повышенной педверженности части лиц летного персонала риску «попадания в инциденты» / И. Е. Бондарчук, Н. М. Грицаенко // Безопасность полетов и человеческий фактор в авиации : тез. докл. VI Всесоюзн. науч.-практ. конф. – Ленинград, 15-17 окт. 1991 г. – Л. : АГА, 1991. – Секция 1, 2. – С. 70-71.
8. Рева А. Н. Психологическая надежность авиационных операторов и диагностика опасных качеств оперативного мышления / Г. А. Крыжановский, А. Н. Рева, С. Н. Неделько // Оптимизация летной эксплуатации и профессиональной подготовки летного состава гражданской авиации : межвуз. тематич. сб. науч. тр. – СПб. : АГА, 1994. – С. 106-118.
9. Рева А. Н. Человеческий фактор и безопасность полетов: (Проактивное исследование влияния) : монография / А. Н. Рева, К. М. Тумышев, А. А. Бекмухамбетов ; науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумышев. – Алматы, 2007. – 242 с.
10. Вайлетт Патрик Р. Невезучие летчики – судьба или свойства характера / Патрик Р. Вайлетт // Авиатранспортное обозрение. – 2007. – № 76. – С. 71-74.
11. Рева О. М. Пілоти-«аварійники»: аналітичний огляд причин авіаційних подій за людським фактором / О. М. Рева, В. П. Булава // Залізничний транспорт України : наук.-практ. ж. – 2008. – № 6. – С. 37- 41.



12. Рева О. М. Оцінка небезпечних властивостей поведінки, оперативного мислення та прийняття рішень у майбутніх юристів / О. М. Рева, О. В. Михайлов // Проблеми пенітенціарної теорії і практики : Бюлетень Київського інституту внутрішніх справ. – К. : КІВС. – 1999. – № 4. – С. 193-196.
13. Jensen R. S. Aeronautical Decision Making for instrumental Pilot / R. S. Jensen, J. Andrien. DOT / FAA / PM-86/42.
14. Горячев В. А. Новый подход к подготовке летного состава за рубежом / В. А. Горячев, Н. Н. Коростелева // Проблемы безопасности полетов : Ежемесячный реферативный сборник. – М. : ВИНТИ, 1990. – № 10.
15. Brecher B. R. A Question of Judgment / B. R. Brecher // Flying, 1981. – Vol. 108. – № 5. – P. 48-52.
16. Безпека авіації / [В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов та ін.] ; за ред. В. П. Бабака. – К. : Техніка, 2004. – 504 с.
17. Обслуживание воздушного движения (Диспетчерское обслуживание воздушного движения, полетно-информационное обслуживание, служба аварийного оповещения) : Приложение 11 к Конвенции о международной гражданской авиации. – Монреаль, Канада, июль 2001.
18. Фундаментальные концепции человеческого фактора // Человеческий фактор : Сборник материалов № 1. – Циркуляр ИКАО 216 AN / 131. – Монреаль, Канада, 1989. – 34 с.
19. Человеческий фактор в системе мер безопасности гражданской авиации : Doc. ICAO 9808 AN/765. – Монреаль, Канада, 2002.
20. Руководство по предотвращению авиационных происшествий : Док. ИКАО 9422-AN/923. – Монреаль, Канада, 1984. – 144 с.
21. Safety Management Manual (SMM) : DOC ICAO 9859 – AN/460. – Montreal, Canada, 2006.
22. Контроль факторов угрозы и ошибок (КУО) при управлении воздушным движением : Cir. ICAO 314-AN/178. – Монреаль, Канада, 2008.

Рева А.Н., Мирзоев Б.М., Насиров Ш.Ш., Мухтаров П.Ш. РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕДУР ДИАГНОСТИКИ И КОРРЕКЦИИ ОПАСНЫХ СТРАТЕГИЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ АВИАДИСПЕТЧЕРАМИ

Учитывая влияние человеческого фактора на безопасность полетов при управлении воздушным движением, впервые разработан новый диагностический и коррекционный механизм проактивного исследования опасных стратегий поведения, оперативного мышления и принятия решений. Профессиональные ситуативные упражнения, что для этого разработаны не имеют правильных ответов, что способствует искренности ответов авиадиспетчеров. Выявленную таким образом структуру предпочтений предложено анализировать вместе с результатами психологической диагностики опасных качеств.

Ключевые слова: человеческий фактор, безопасность полетов, авиадиспетчеры, опасные стратегии поведения, оперативного мышления и принятия решений, профессиональные ситуативные упражнения

Reva A.N., Mirzoev B.M., Nasirov Sh.Sh., Muhtarov P.Sh. DEVELOPMENT OF METHODOLOGICAL ENSURING PROCEDURES FOR DIAGNOSTICS AND CORRECTION IN DANGEROUS STRATEGY OF DECISION MAKING BY AIR TRAFFIC CONTROLLERS

Taking into account the impact of human factor on flight safety in air traffic control, it's the first time when a new diagnostic and corrective mechanism of proactive study of dangerous behavior strategies, operational thinking and decision making was developed. The previous professional exercises don't have the correct variants that assist the air traffic controllers' answers rightness. Thus, the diagnosed structure of precedence is proposed to be analyzed with the results of psychological diagnostics of dangerous qualities.

Keywords: human factor, flight safety, air traffic controllers, dangerous behavior strategies, operational thinking and decision making, professional situational exercises.



ФОРМАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІЙ ВИКЛАДАЧА ЯК ЕЛЕМЕНТУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ

Соколов А.Є.

Херсонський національний технічний університет

Розглядаються функції викладача у процесі самостійного навчання, здійснюваному за допомогою індивідуалізованої комп'ютеризованої системи навчання. Виконано: дослідження функцій викладача в інформаційній технології навчання, їхня формалізація й опис компоненти комп'ютеризованої системи навчання, яка відповідає за виконання функцій вчителя і забезпечує інтенсифікацію та підвищення якості навчання у комп'ютеризованій системі навчання.

Ключові слова: індивідуалізована комп'ютеризована система навчання, самостійне навчання, функції викладача, формалізація, інформаційна технологія навчання.

Вступ. У традиційній системі навчання кожен викладач виконує свої функції відповідно до рівня знань в цій області, своїх можливостей (здібностей) навчати, бажання (мотивації), і залежно від зовнішніх умов проходження процесу навчання. Успіхи традиційної освіти в СРСР в 60-80 роках, визнані у всьому світі [1], пояснюються високим рівнем системи освіти, яка трималася на найвищому рівні знань професорсько-викладацького складу. Приплив в освіту людей з високими здібностями отримувати власні знання і навчати інших, забезпечувалася побудованою десятиліттями системою мотивації, яка базувалася на забезпеченні державою високого соціального статусу і життєвого рівня. Реалії останніх двох десятиліть, на жаль, призвели до такого стану, що не забезпечується приплив у сферу освіти кращих випускників вищих навчальних закладів. Аналіз причин цього явища виходить за рамки цього дослідження. Але система освіти відноситься до класу систем, що відрізняються інертністю. Наявність в сучасній освіті України досвідчених фахівців-викладачів з великим професійним стажем, що здобули свого часу прекрасну освіту, дозволяє сподіватися на відродження освіти на новому якісному рівні за рахунок того, що знання цих фахівців будуть використані при створенні комп'ютеризованих засобів навчання.

Традиційна система освіти створювалася століттями і завжди у центрі освітнього процесу стояв викладач. Навчальні засоби і посібники грали другорядну роль, що забезпечило певні вимоги до структури і змісту зокрема, навчальних посібників і підручників. Вони прекрасно виконували покладене на них дидактичне завдання у всьому світі ще 30-40 років тому, забезпечуючи процес навчання в частини інформаційної підтримки знань середнього студента, і забезпечення можливостей для самонавчання кращих студентів.

У реаліях сьогодення, коли в освітній системі України зроблений дуже великий нахил у бік самоосвіти і самонавчання студентів, багато фахівців [2, 3] відмічають, що класичний паперовий підручник, не за видом носія, а за своєю структурою і змістом не забезпечує отримання якісних знань при самонавчанні студента, зважаючи на відсутність викладача як суб'єкта процесу навчання.

Електронні засоби навчання, все ширше використовувані сьогодні в навчальному процесі, теж найчастіше створені на основі паперового підручника (шляхом переведення в електронний вигляд). Тому навчання з їх використанням має ефект тільки під контролем викладача. Інакше падає рівень знань студентів, а також мотивація до навчання.

Очевидно, що в основі підготовки високопрофесійних (елітних) фахівців завжди лежатиме традиційна система навчання з високою долею участі викладача, тому що викладач передає не лише знання, але прищеплює елементи культури. Про це свідчить досвід найбільш престижних вищих навчальних закладів світу: Оксфорд, Кембридж, Сорбонна і т.д.

Таким чином, при декларованій масовій освіті виникає протиріччя між технічними можливостями інформаційного забезпечення процесу навчання, що усе більш



збільшуються, і можливостями студента без сторонньої допомоги опанувати цю інформацію, перетворити її в знання конкретної області (конкретної навчальної дисципліни, зокрема). Під можливостями студента, в даному випадку, розуміється не лише рівень вхідних знань, необхідних для опанування цієї дисципліни, але і рівень мотивації, підтримка якої при традиційній системі навчання є однією з функцій викладача і виконується ним в міру його здібностей.

Постановка завдання. Для вирішення сформульованого вище протиріччя необхідно управляти підвищенням можливостей студента в процесі навчання, тобто здійснювати керівні дії у напрямі підвищення поточного рівня знань і мотивації до навчання з урахуванням індивідуальних особливостей того, хто навчається. У традиційній системі навчання ці дії здійснює викладач, і така система із застосуванням технічних засобів, що постійно удосконалюються, залишиться основною для «штучної» підготовки фахівців вищого рівня.

Для масової підготовки фахівців, для їх перепідготовки і підвищення кваліфікації, для здійснення розрекламованої тези «навчання протягом усього життя» в умовах переходу суспільства на рівень інформаційного потрібна розробка нових підходів до процесу навчання, заснованих на інформаційних технологіях, у частині здійснення дій викладача зокрема. Одним з варіантів здійснення керівних дій на процес навчання в мережевих технологіях навчання є використання тьютерів у дистанційних курсах, що набули поширення на Україні і за кордоном для масової підготовки фахівців з окремих дисциплін і спеціальностей. Функції тьютера аналогічні функціям викладача при традиційній системі навчання, але повністю їх не вичерпують. А комп'ютеризоване самостійне навчання, яке за своєю суттю індивідуалізоване, теж вимагає керівних дій, які аналогічні діям викладача. Тому питання формалізації дій викладача досить актуальні.

Моделювання дій викладача при навчанні розглядалося ще у теорії програмованого навчання, якій було присвячено роботи Ростунова Т. І., Річмонда У. К., Машбіца Є. І., Гребеня І. І., Довгялла О. М. Модель викладача присутня у дослідженнях сучасних закордонних вчених: Буль Є. Є., Околелова О. П., українських учених Метешкина К. О., Меньяйленка О. С., Кухаренка В. М. Але ця модель має або, частіше за все, вербальний вигляд, або математичний вигляд, обмежений кількома параметрами, зміст яких не виходить за межі моделювання функцій викладача, зумовлених традиційною формою навчання. Тому питання моделювання дій викладача, у процесах самостійного комп'ютеризованого навчання зокрема, потребують подальших досліджень.

Проведений аналіз існуючих систем комп'ютеризованого навчання (СКН) показав їх обмеженість, оскільки вони не дозволяють врахувати вимоги до індивідуалізації навчання внаслідок відсутності моделей вчителя – того, хто навчає, що призводить до неможливості керувати діяльністю й активністю учня у процесі навчання, що обмежує можливості здійснювати управління процесом індивідуалізованого комп'ютеризованого навчання (ІКН) у найбільш використовуваних СКН: MOODLE, Claroline, Dokeos, Atutor, LAMS, OLAT, Sakai, ILIAS. Це не приводить до інтенсифікації процесу самостійного навчання у СКН та підвищення його якості. Тому актуальним є завдання побудови СКН, які підвищують якість самостійного навчання за рахунок використання моделей не тільки об'єкту, але і суб'єкту навчання.

Метою статті є дослідження функцій викладача, їхня формалізація у інформаційній технології навчання та опис компоненти комп'ютеризованої системи навчання, яка відповідає за виконання функцій вчителя та забезпечує інтенсифікацію та підвищення якості комп'ютеризованого навчання.

Основна частина. У традиційній системі навчання можна виділити етапи самостійної роботи (самонавчання), коли студент повторює матеріал лекцій, розбирається у ньому, виконує завдання з практичних і лабораторних робіт. За цими етапами йдуть етапи навчання, які вимагають контактів з викладачем: консультації, захист лабораторних робіт, поточний контроль знань та інші. На цих етапах відбувається навчання студента,



він отримує і закріплює знання за рахунок контакту з викладачем, що підвищує його мотивацію до подальшого навчання. Системи комп'ютеризованого навчання декларують як основну властивість зменшення ролі викладача (зниження ролі суб'єктивного чинника) [2], особливо на етапі контролю знань. Але вилучення викладача як ланки процесу контролю знань призводить не лише до позитивного ефекту – підвищення об'єктивності оцінки (у сенсі незалежності від суб'єктивної думки викладача), але і до негативного ефекту – істотному зменшенню значення етапу контролю знань як етапу отримання знань в процесі навчання, тому що викладач при виставлянні оцінки не лише пояснює помилки того, хто навчається, а навіть причини їх виникнення, (автоматизовані засоби навчання, у кращому разі, ці помилки фіксують), але і формує стратегію подальшого навчання з урахуванням цих помилок.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що в комп'ютеризованих системах навчання (КСО) потрібні модулі, найбільш повно реалізуючи функції викладача.

У КСО, як і у традиційній системі навчання, процес навчання містить етапи отримання знань і контролю знань. Етап отримання знань в будь-якій системі до певної міри є етапом самонавчання; у КСО, особливо при роботі з електронними підручниками, цей етап відбувається повністю в режимі самонавчання.

Звідси витікає необхідність управління процесом самонавчання в КСО, імітуючи дії викладача. Досвідчений викладач використовує при навчанні увесь арсенал своїх здібностей, максимально використовуючи здібності учня, особливості сприйняття і так далі, постійно підтримуючи його рівень мотивації. Значніших успіхів навчання викладач досягає при малих групах, і особливо – при індивідуальному навчанні, зокрема при репетиторстві.

У КСО індивідуалізація навчання декларується як невід'ємна властивість системи. Реалізується воно за допомогою моделі того, хто навчається. Практично усі системи використовують як основний параметр моделі того, хто навчається – рівень знань і тільки деякі – інші параметри, зокрема особові характеристики учня, оскільки головною метою є отримання певного обсягу знань. Проте викладач на відміну від машини, враховуючи індивідуальні особливості того, хто навчається, може створювати умови, максимально сприяючі отриманню і засвоєнню нових знань.

Одним з варіантів досягнення подібного ефекту в комп'ютеризованих системах є доповнення моделі того, хто навчається, психологічними характеристиками і використання їх для адаптації системи до його пізнавальних стилів. При цьому навчальна система повинна забезпечити можливість вибору прийомів і способів навчальної роботи, методів і стратегії процесу навчання, змісту, виду і форми організації навчального матеріалу, що найбільш відповідають індивідуальним особливостям учня. Як варіант досягнення цього ефекту в комп'ютеризованих системах пропонується використання моделі того, хто навчає [3, 4]. Для того, щоб вирішити наступні основні завдання: визначити зміст навчальних дій; реалізувати вибрані навчальні дії в певній послідовності, що відповідає обраній методиці навчання, і оцінити результати застосування навчальних дій потрібна модель адаптивного управління процесом навчання. Сукупність цих трьох видів моделей, як запропоновано у [5], має забезпечити успішне рішення в КСО сформульованих вище завдань.

Таким чином, у інформаційній технології «учитель» – це компонент, який забезпечує реалізацію заданої послідовності повідомлень – траєкторії навчання, передбачається, що цей компонент здатний оцінити помилку навчання і на основі моделі об'єкту навчання і поставленої мети навчання прийняти рішення про корекцію траєкторії навчання. Природно ці функції управління процесом і завдання учителя зводяться до завдання оптимального управління [6].

Власне при такій постановці структура технологічного елементу «учитель» у інформаційній технології має вигляд (рис. 1).



Рисунок 1 – Структура компоненту «викладач» в інформаційній технології навчання

Висновок. Таким чином, виконано дослідження функцій викладача, їхню формалізацію у інформаційній технології навчання та побудовано компоненту комп'ютеризованої системи навчання, яка відповідає за виконання функцій вчителя та забезпечує інтенсифікацію та підвищення якості навчання у комп'ютеризованій системі навчання.

Подальший напрям досліджень має бути спрямований на деталізацію окремих функцій викладача:

- аналіз попереднього процесу;
- прогноз результатів навчання;
- формування навчального впливу.

Далі мають бути побудовані математичні моделі цих функцій, які є основою відповідних модулів КСН.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Герщунский Б. С. Компьютеризация в сфере образования : Проблемы и перспективы / Б. С. Герщунский. – М. : Педагогика, 2000. – 264 с.
2. Метешкин К. А. Теоретические основы построения интеллектуальных систем управления учебным процессом в вузе / К. А. Метешкин. – Харьков : Экограф, 2000. – 276 с.
3. Меньяйленко О. С. Математична модель учителя в алгоритмах оцінки навчальних досягнень учнів / О. С. Меньяйленко // Вісн. східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2005. – № 9 (91). – С. 77-86.
4. Соколов А. Е. Моделирование процесса обучения с использованием моделей обучаемого и обучающегося / А. Е. Соколов // Проблемы інформаційних технологій. – 2009. – № 2 (006). – С. 154-157.
5. Соколов А. Є. Комбінована модель управління процесом комп'ютеризованого навчання / А. Є. Соколов // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2010. – № 1 (52). – С. 157-160.



6. Соколов А. Є. Формалізація задачі оптимізації індивідуалізованого комп'ютеризованого навчання / А. Є. Соколов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон : Вдавництво ХДМА, 2012. – № 2 (7). – С. 97-100.

Соколов А.Е. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ КАК ЭЛЕМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ

Рассматриваются функции преподавателя в процессе самостоятельного обучения, осуществляемого с помощью индивидуализированной компьютеризированной системы. Выполнено: исследование функций преподавателя в информационной технологии обучения, их формализация и описание компоненты компьютеризованной системы обучения, которая отвечает за выполнение функций учителя и обеспечивает интенсификацию и повышение качества обучения в компьютеризованной системе обучения.

Ключевые слова: индивидуализированная компьютеризованная система обучения, самостоятельное обучение, функции преподавателя, формализация, информационная технология обучения.

Sokolov A.E. FORMALIZING TEACHER'S FUNCTIONS AS AN ELEMENT OF INFORMATIONAL EDUCATION SYSTEM

The teacher's functions in the independent studying process realized via an individualized computerized system are defined. The teacher's role in an informational education system has been studied. The formalization and description of the computerized education system components have been done as for the one responsible for teacher's functions realization and education quality improvement.

Keywords: individualized computerized education system, independent studying, teacher's functions, formalization, informational education system.





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



МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ. Часть 1. АКТУАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ НАПРАВЛЕНИЯ МИОМ. ПУТИ РЕШЕНИЯ

Батыгин Ю.В., Гнатов А.В., Трунова И.С.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

В статье проведено обоснование актуальности развития магнитно-импульсной обработки металлов в новом направлении – притяжение заданных участков листовых металлов. Дан краткий обзор основных мировых достижений. Проведен анализ электродинамических процессов при притяжении ферромагнетиков, представлено оборудование, экспериментальные исследования и практическая апробация новых авторских предложений по внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовке корпусных элементов транспортных средств.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка металлов, магнитно-импульсная установка, бесконтактная рихтовка, удаление вмятин, индуктор.

Цель изложения – обоснование актуальности развития магнитно-импульсной обработки металлов (аббревиатура – МИОМ) в направлении, связанном с притяжением заданных участков листовых металлов, краткий обзор основных мировых достижений и освещение новых авторских предложений в этой области.

К настоящему времени разработки разного рода технических систем для выравнивания заданных участков на поверхности тонкостенных листовых металлов инициированы, в основном, спросом на производственные операции по реставрации корпусов самолётов и кузовных покрытий наземных транспортных средств, в частности автомобилей.

В первом случае необходимость такой операции обусловлена нарушением аэродинамических характеристик летательного аппарата, вплоть до потери устойчивости в полёте, во втором, не только эстетическими соображениями, но зачастую и просто невозможностью дальнейшей эксплуатации транспортного средства с повреждённым кузовом.

Как показывает практика, более 50 % повреждений представляют собой вмятины в зонах с затрудненным или полностью закрытым обратным доступом. Это различные корпусные элементы, крылья, фюзеляжи самолётов. Это двери, капоты, крыши, пороги, бампера автомобилей т.д.

В этой связи особый интерес представляют устройства, позволяющие производить реставрацию повреждений (вмятин) на поверхности с внешней стороны без разборки корпуса или кузова и, по возможности, без нарушения существующего защитного покрытия.

Достоверность вышесказанного не требует подтверждения специальными ссылками на первоисточники. Доказательством тому являются хорошо известные не только специалистам разработки концерна «Boeing Company», внедряемые в авиапромышленность США в течение уже более 40-ка лет, а также европейских фирм (с многочисленными филиалами по всему миру), специализирующихся на эффективном оборудовании для ремонта современных автомобилей.

Исторические аспекты развития магнитно-импульсных технологий. Исторически и хронологически, «пионером» в области создания технических систем для внешнего устранения вмятин в листовых проводниках можно считать Соединённые Штаты Америки [1-9].

Одно из первых, и без преувеличения можно сказать основополагающих, предложений по созданию устройств магнитно-импульсного притяжения металлов было сформулировано в патенте Н.Furth [1].

Рассматривалось два варианта решения проблемы (рис. 1).

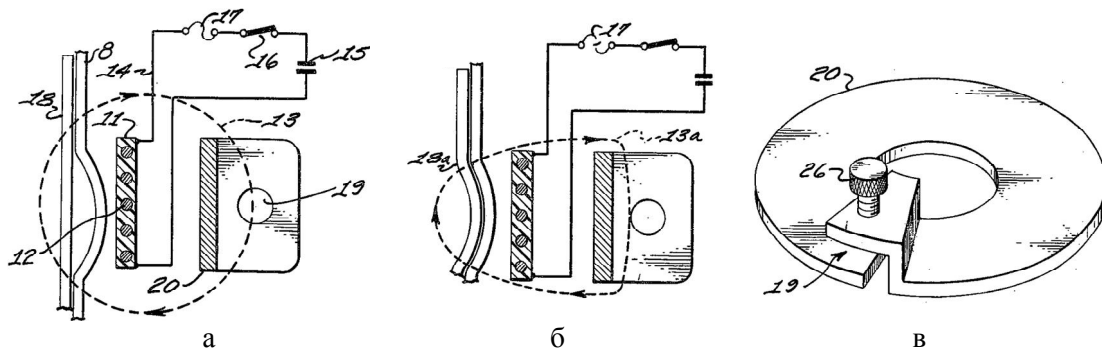


Рисунок 1 – Общий вид схемы изобретения Н. Furth: а – до перегорания плавкой вставки; б – после перегорания плавкой вставки; в – общий вид вторичной катушки

Первый, помимо основного многovitкового соленоида, предполагал введение дополнительного разомкнутого витка (рис. 1в), размещённого над вмятиной в тонком металлическом листе. По замыслу автора, основным соленоидом возбуждается медленно нарастающее магнитное поле и при определённой разности потенциалов на границах разреза в разомкнутом витке, должен произойти электрический пробой промежутка, после чего виток становится короткозамкнутым. Протекающий в нём ток возбуждает быстро нарастающее магнитное поле, направление которого противоположно полю основного соленоида. Поле витка и поле соленоида взаимно уничтожаются. Поверх металла с вмятиной результирующая напряжённая обращается в нуль. Поле основного соленоида, проникшее и оставшееся под обрабатываемым металлом, создаёт давление, направленное к индуктору. Под его действием происходит выравнивание деформированного металла.

Физическая сущность данного предложения сводится к возбуждению магнитных полей с разными временными характеристиками. «Медленное» проникает сквозь обрабатываемый объект – тонкий листовой проводник. «Быстрое» не может проникнуть, его назначение состоит в том, чтобы уничтожить поле над листом с вмятиной. В результате «медленное» магнитное поле реализует магнитно-импульсное притяжение обрабатываемого металла к индуктору.

Второй вариант по физической сущности не отличается от первого предложения. Различие состоит в способе получения «медленного» и «быстрого» полей. Здесь автор предлагает использовать два отдельных источника мощности (батареи импульсных конденсаторов) с разными временными характеристиками генерируемых токов. Взаимодействие возбуждаемых полей в зоне обработки приводит к превалированию сил магнитного давления на металл снизу над давлением сверху. Объект обработки притягивается к индуктору.

Работоспособность возможных технических реализаций по предложениям Н. Furth весьма сомнительна. Как следствие, его патент не нашёл своего практического воплощения, хотя авторы следующих более поздних и более удачных проектов ссылаются на него, как на первоисточник в направлении развития систем для магнитно-импульсного притяжения.

К таковым относятся, например, изобретения инженеров «Boeing Company» К. Hansen, I. Hendrickson, P. Zieve и др. [2-5]. Следует подчеркнуть, что физическая сущность цитируемых разработок принципиально не отличается от физической сущности заявки Н. Furth. Здесь также речь идёт о суперпозиции «медленного» и «быстрого» полей. Но теперь уже авторы говорят о наложении низкочастотного и высокочастотного сигналов в обмотке инструмента-индуктора.

Двухчастотные системы для магнитно-импульсного притяжения нашли реальное практическое применение в работах по реставрации корпусов самолётов, рис. 2. В последующем на базе этих разработок из корпорации «Boeing Company» выделились фирмы «Electroimpact» и «Fluxtronic» (США), специализирующиеся именно на магнитно-импульсных технологиях по притяжению металлов [6, 7].



Общими недостатками систем магнитно-импульсного притяжения, основанных на суперпозиции низкой и высокой частот (как токов, так и полей), являются:

- наличие двух источников энергии (магнитно-импульсных установок),
- сложность необходимой сильноточной электроники,
- большие затраты на требуемые комплектующие (как минимум в 2 раза больше в сравнении с традиционными магнитно-импульсными системами),
- низкая надёжность в эксплуатации плюс достаточно высокая себестоимость конечного продукта.

В заключение обзора работ американских учёных по реставрации повреждённых металлов для полноты картины следует упомянуть разработки, не связанные с использованием магнитно-импульсных технологий и по разным, но по вполне объективным причинам, не нашедшие своего практического применения.



а



б

Рисунок 2 – Системы магнитно-импульсного устранения вмятин в элементах летательных аппаратов: а – разработка фирмы «Electroimpact»; б – оборудование, предлагаемое компанией «Fluxtronic»

К таковому относится предложение применять электромагниты в сочетании с ферромагнитной подложкой [8]. По замыслу автора электромагнит помещается над вмятиной, а с противоположной стороны реставрируемого металлического листа (со стороны выпуклости) подводится ферромагнетик. Последний притягивается полем электромагнита и давлением собственной массы выравнивает поверхность листа. Автором патента [9] предложено использовать вакуумную технику. В области вмятины создаётся атмосферное разрежение. Его втягивающее силовое действие приводит к устранению повреждения.

В научной периодике обсуждалось также предложение использовать нагрев металла в области вмятины с последующим быстрым локальным охлаждением. Резкий переход из одного теплового состояния в противоположное, по мнению участников дискуссии, должен привести к появлению внутренних механических напряжений, под действием которых должно произойти выравнивание деформированного листа. Дальше обсуждений дело не пошло, проект оказался практически не реализуемым.

На европейском рынке оборудования для рихтовки и восстановления автомобильных кузовов лидирующее положение занимает концерн «Beulentechnik AG» (главный офис в Швейцарии, филиалы в Германии, Чехии, Австралии) [10-17].

В перечне предлагаемых разработок содержится довольно обширный ряд механических устройств для внешней рихтовки вмятин [10-13]. Среди них выделяются вытяжные приспособления, общими конструктивными элементами которых являются собственно вытягивающий элемент – стержень, одним концом приваренный или приклеенный к металлу по центру устраняемой вмятины, и рычажный механизм, позволяющий постепенное вытягивание свободного конца стержня до уровня реставрируемой поверхности, рис. 3. После устранения вмятины сварное или клеевое присоединение убирается. Отреставрированная поверхность подвергается обработке в



соответствии с традиционной технологией. Последняя операция – это нанесение защитного лакокрасочного покрытия.



Рисунок 3 – Механические вытяжные устройства для внешнего устранения вмятин концерна «Beulentechnik AG»

Следует подчеркнуть, что работа с механическими вытяжными устройствами требует высокой квалификации и мастерства исполнителя. Но даже в этом случае практически невозможно обеспечить достаточную надёжность выполняемой операции в смысле сохранности ремонтируемого элемента. Последнее замечание означает, что в процессе реставрации возможно и его разрушение.

Значительно более интересными для практики внешнего устранения вмятин в автомобильных кузовах из ферромагнитных сплавов представляются предложения концерна «Beulentechnik AG», названные как «Магнитное приспособление для удаления вмятин», рис. 4 (в оригинале на сайте концерна – «Magnetic Dent Remover») [14-16].

В патентах [14, 15], полученных в разное время (2006 г., автор – R. Meichtry, 2008 г., авторы – R. Meichtry и I. Kouba), практически, заявлены одни и те же позиции.



а



б

Рисунок 4 – Магнитное приспособление для удаления вмятин концерна «Beulentechnik AG»: а – источник мощности с инструментом; б – приспособление в действии

В целом, это устройство для удаления вмятин в листовых ферромагнетиках, содержащее емкостные накопители энергии, рабочий инструмент и, так называемые, адаптерные приспособления, предназначенные для фиксации рабочего инструмента над удаляемой вмятиной.



Существенной практической новизной здесь обладают лишь способ изготовления многовитковой рабочей катушки инструмента-индуктора и адаптерные приспособления.

Выносной индуктор – это мобильный инструмент, подсоединённый к источнику мощности гибким кабелем, описан в патенте [19].

Принцип магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых металлов в патентах [14, 15] заимствован из работ, часть из которых была выполнена по заказу концерна «Beulentechnik AG» в Национальном техническом университете «Харьковский политехнический институт» в 2002-2003 г. г. [20-22].

Главным фактором, обеспечивающим трансформацию известного отталкивания обрабатываемого объекта в притяжение, то есть, обеспечивающим работоспособность систем, названных в цитируемых патентах как «Магнитное приспособление для удаления вмятин», является выбор рабочих частот действующего поля. Эффект возможен только в низкочастотном режиме, когда

$$\omega \ll \frac{1}{\mu_0 \cdot \gamma \cdot d^2}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi \cdot f$; f – рабочая частота; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума; γ – удельная электропроводность металла; d – толщина металла.

Условие низкочастотного режима в виде процитированного неравенства выписано из работы [19], опубликованной в 2004 г. Оно же зафиксировано в патенте [21] с приоритетом от 2004 г. Эта же формула, регламентирующая выбор частотного диапазона действующих полей и обозначенная как (уравнение 2), фигурирует в патентах R. Meichtry и I. Kouba [13, 14].

В настоящее время «Магнитное приспособление для удаления вмятин» так же, как и широкий перечень механических приспособлений, предлагаются авторемонтным компаниям концерном «Beulentechnik AG» на страницах их фирменного сайта [16].

К преимуществам магнитно-импульсных разработок концерна «Beulentechnik AG» в сравнении с реальными аналогами, предлагаемыми американскими производителями «Boeing Company», «Electroimpact» и «Fluxtronic» (США), следует отнести:

- наличие одного источника мощности вместо двух;
- отсутствие сложной сильноточной электроники, необходимой для синхронизации в случае двух источников;
- существенно меньший перечень комплектующих и, наконец, вероятно значительно меньшая себестоимость готового изделия.

К основным недостаткам оборудования «Магнитное приспособление для удаления вмятин» концерна «Beulentechnik AG» следует отнести:

- применение в качестве инструмента многовитковой катушки, которая, судя по описанию в цитируемых патентах, достаточно сложна в изготовлении и, как показал весь практический опыт МИОМ, весьма недолговечна в эксплуатации;
- возможность работы только с ферромагнетиками (отдельные стальные композиции), и невозможность устранения вмятин в немагнитных металлах (алюминиевые сплавы и др.);
- принцип действия основан на устаревших к настоящему времени выводах первых научно-исследовательских поисковых работ 2003-2004 гг., которые не позволяют в достаточной мере реализовать все позитивные возможности магнитно-импульсного притяжения (в дальнейшем будут освещены более эффективные предложения – следствия авторских исследований электрофизической природы протекающих электромагнитных процессов).

Проблема притяжения заданных участков листовых металлов с помощью силового воздействия со стороны электромагнитных полей, может быть решена и с использованием других технических предложений, выдвинутых в разное время разными авторами.



Так, например, в работе [19] предложена схема раздачи полых труб внешним магнитным полем, временная конфигурация которого предполагает переменное действие сжимающих и расширяющих электродинамических усилий. Внутри трубы размещается жёсткая оправка, механически препятствующая её сжатию. Степени свободы в расширении приводят, в конечном итоге, к раздаче полой трубы в соответствии с производственным заданием.

По меньшей мере, познавательный интерес представляют различные вариации способа, описанного в монографии Г.А. Шнеерсона [17], и заключающегося в создании медленно нарастающего магнитного поля, резко прерываемого при достижении заданного уровня напряжённости. В результате над обрабатываемым объектом поля нет, а под ним есть (проникшее). Возникающие электродинамические усилия притягивают к индуктору заданный участок металла, вызывая его деформирование. Несмотря на кажущуюся «прозрачность» данного предложения, информация о каких-либо его практических реализациях в научной периодике отсутствует.

Следует отметить, что физическая сущность медленного нарастания с последующим прерыванием действующего магнитного поля сводится к принципу действия двухчастотных магнитно-импульсных систем, предложенных и создаваемых до настоящего времени американскими производителями соответствующей аппаратуры.

Работы по созданию оборудования и инструментов для магнитно-импульсного притяжения, основанных на иных физических концепциях, были начаты в Национальном техническом университете «Харьковский политехнический институт». В настоящее время эти работы продолжены и ведутся также в Харьковском национальном автомобильно-дорожном университете, где при кафедре физики создана специализированная научно-исследовательская лаборатория электромагнитных технологий.

Первые разработки устройств магнитно-импульсного притяжения были основаны на создании пространственно-временного распределения действующих полей в индукторной системе, обеспечивающего нуль магнитного потока в пространстве между тонкостенными листовыми металлами. Инструменты такого принципа действия были названы авторами предложения «сложными индукторными системами». Сущность предложения состоит в следующем. Между двумя источниками магнитного поля (например, плоскими соленоидами) помещаются два листовых металла. Варьирование амплитуд внешних полей в соответствии с электрофизическими характеристиками металлов позволяет получить нуль магнитного потока в пространстве между ними. За счёт сил давления, действующих со стороны соленоидов, листовые металлы испытывают взаимное притяжение [18].

Для расширения круга производственных задач, требующих выноса инструмента к обрабатываемым объектам, была создана магнитно-импульсная установка с выносным индуктором. Данная разработка была защищена патентом 1996 года [19].

Результаты теоретических и экспериментальных исследований электромагнитных процессов в «сложных индукторных системах» описаны в публикациях [18, 19].

Резюмируя первые попытки трансформировать естественное магнитно-импульсное отталкивание в «искусственное» притяжение с помощью «сложных индукторных систем», следует отметить, что, как инструменты для притяжения, они не нашли практического применения. Их использование оказалось целесообразным для штамповки рисунка печатных плат в электротехнических устройствах и для холодной сварки металлических элементов сборных конструкций (при встречном движении скорость соударения возрастает почти в 2 раза) [19].

Более перспективными для магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых металлов следует считать разработки, начатые в 2002 г. и проводимые по настоящее время.



Выводы:

1. Проведен анализ мировых тенденций развития современных магнитно-импульсных технологий, который показывает всё возрастающую актуальность направления магнитно-импульсной обработки металлов, связанного с притяжением заданных участков проводящих объектов.
2. Обоснована актуальность развития магнитно-импульсной обработки металлов в направлении, связанном с притяжением заданных участков.
3. Описаны существующие системы магнитно-импульсного устранения вмятин и присущие им недостатки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 3,196,649 USA (США). Devices for metal-forming by magnetic tension / Harold P. Furth ; заявитель и патентообладатель Advanced Kinetiks, Inc., Costa Mesa, California. – № 173,680 ; заявл. 16.02.1962; опубл. 27.07.1965.
2. Пат. 3,998,081 USA (США), B21D 26/14. Electromagnetic dent puller / Hansen Karl A., Hendrickson Glen I. ; заявитель и патентообладатель The Boeing Company, Seattle, Wash. – № 489,290 ; заявл. 17.07.1974; опубл. 21.12.1976.
3. Пат. 4,148,091 USA (США), H02M 5/40. Electromagnetic force machine with universal portable power supply / Hansen Karl A., Hendrickson Glen I. ; заявитель и патентообладатель The Boeing Company, Seattle, Wash. – № 864,735; заявл. 27.12.1977; опубл. 03.04.1979.
4. Пат. 4,986,102 USA (США), B21D 26/14. Electromagnetic dent remover with tapped work coil / Hendrickson Glen I., Hansen Karl A. ; заявитель и патентообладатель The Boeing Company, Seattle, Wash. – № 355,563 ; заявл. 23.05.1989; опубл. 22.01.1991.
5. Пат. 5,046,345 USA (США), B21D 1/06. Power supply for electromagnetic proof load tester and dent remover / Zieve Peter B. ; заявитель и патентообладатель Peter B. Zieve. – № 451,106 ; заявл. 15.12.1989; опубл. 10.09.1991.
6. Electromagnetic Dent Removal // Матеріали сайту – 2009. – Режим доступу : <http://www.electroimpact.com/EMAGDR/overview.asp>.
7. Need an electromagnetic dent remover on hand. Fluxtronic offers the best: the Portable Flux 3 dent remover // Матеріали сайту – 2009. – Режим доступу : <http://www.fluxtronic.com/product.php>
8. Пат. 4,754,637 USA (США), B21D 1/12. Electromagnetic dent removing tool / Danny W. O'Dell ; заявитель и патентообладатель Danny W. O'Dell, Calument City. – № 38/622 ; заявл. 14.04.1987; опубл. 05.07.1988.
9. Пат. 6,538,250 B1 USA (США), B21D 1/12. Apparatus and method for vacuum dent repair / Borchert Donald Paul ; заявитель и патентообладатель Dent Defyer Inc. – № 09/707,562 ; заявл. 06.11.2000; опубл. 25.03.2003.
10. Пат. EP 1341621 B1, Germany B21D 1/06. Planishing device and method / Meichtry Ralph ; заявитель и патентообладатель Rentsch & Partner. – № 00977335.9 ; заявл. 05.12.2000; опубл. 13.06.2002.
11. Пат. 6,874,347 B2, USA (США) B21D 1/06. Planishing device and method / Meichtry Ralph; заявитель и патентообладатель Meichtry Ralph. – № 10/258,397 ; заявл. 13.01.2002; опубл. 05.04.2005.
12. Пат. WQ 03/008125 A1, B21D 1/06. Device and method for removing the dents in sheet steel parts / Meichtry Ralph ; заявитель и патентообладатель IP & T Rentsch & Partner. – № 1354/01 ; заявл. 19.07.2002; опубл. 30.01.2003.
13. Пат. EP 1459814 B1, Germany B21D 1/06. Device for removing dents from sheet metal parts / Meichtry Ralph ; заявитель и патентообладатель Rentsch Rudolf A., Rentsch & Partner. – № 04006194.7 ; заявл. 17.03.2003; опубл. 16.03.2004.



14. Пат US WO/2006/119661. Dent removing method and device / Meichtry Ralph, Kouba Ivan ; заявитель и патентообладатель Rentsch & Partner. – № 60/680,303 ; заявл. 11.05.2006; опубл. 16.11.2006.
15. Пат. US 2008/0163661 A1 USA (США). Dent removing method and device / Meichtry Ralph, Kouba Ivan ; заявитель и патентообладатель Ostrolenk faber gerb & soffen, New York. – № 11/910,788 ; заявл. 11.05.2006; опубл. 10.07.2008.
16. Welcome to BETAG Innovation // Матеріали сайту – 2012. – Режим доступу : www.beulentechnik.com.
17. Шнеерсон Г. А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверх сильных токов / Г. А. Шнеерсон. – М. : Энергоатомиздат, 1992. –200 с.
18. Батыгин Ю. В. Магнитное поле в системе из двух соленоидов, разделенных тонкостенными проводниками / Ю. В. Батыгин, Л. Т. Хищенко, И. И. Щетинская // Техническая электродинамика. – К., 1990.– № 4.– С. 3-8.
19. Батыгин Ю. В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский, Л. Т. Хищенко. – Т.1; под ред. Ю. В. Батыгина. – Харьков : МОСТ–Торнадо, 2003. – 284 с.
20. Batygin Yu. V. Direction Change of the Force Action upon Conductor under Frequency Variation of the Acting magnetic Field / Yu. V. Batygin, V. I. Lavinsky, L. T. Khimenko // Proceedings of the 1 – st International Conference on High Speed Metal Forming. March 31/April 1, 2004. Dortmund, Germany. – P.157–160.
21. Пат. 75676 Україна, МПК В 21 D 26/14. Спосіб магнітно – імпульсної обробки тонкостінних металевих заготовок / Батыгин Ю. В., Лавинський В. І., Хищенко Л. Т.; заявитель и патентообладатель ХПИ. – № 2004010512 ; заявл. 23.01.04; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5.
22. Батыгин Ю. В. Физические основы возможных направлений развития магнитно-импульсной обработки тонкостенных металлов / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский, Л. Т. Хищенко // Електротехніка і електромеханіка. – Харків, 2004. – № 2. – С. 80-84.

Батыгин Ю.В., Гнатов А.В., Трунова І.С. МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ. Частина 1. АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ НАПРЯМКУ МІОМ. ШЛЯХИ РІШЕННЯ

У статті проведено обґрунтування актуальності розвитку магнітно-імпульсної обробки металів у новому напрямку – притягання заданих ділянок листових металів. Надано короткий огляд основних світових досягнень. Проведено аналіз електродинамічних процесів при притяганні ферромагнетиків, представлено обладнання, експериментальні дослідження та практична апробація нових авторських пропозицій по зовнішньому безконтактному магнітно-імпульсному рихтуванню корпусних елементів транспортних засобів.

Ключові слова: магнітно-імпульсна обробка металів, магнітно-імпульсна установка, безконтактне рихтування, видалення вм'ятин, індуктор.

Batygin Yu.V., Hnatov A.V., Trunova I.S. PULSE-MAGNETIC PROCESSING OF METALS RELEVANCE AND PERSPECTIVENESS. WAYS TO SOLVE

The foundation for relevance of pulse-magnetic processing of metals in a new direction – attraction of the given sections of sheet metals has been carried out in this article. The brief review of main world achievements has been done. The analysis of electro-dynamical processes in ferromagnetic substances attraction has been carried out as well as the demonstration of equipment. The experimental researches and practical approbation of new authors proposals for external noncontact magnetic-pulse straightening of the transport body elements have been presented.

Keywords: pulse-magnetic processing of metals, magnetic-pulse installation, noncontact straightening, dents removal, inductor.



ОЦЕНКА ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАТОРОВ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ В КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Горобец В.Г.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев

Богдан Ю.А.

*Киевская государственная академия водного транспорта
имени гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного*

В данной статье рассматривается проблема утилизации теплоты отработанных газов двигателей внутреннего сгорания в когенерационных установках. Приведен эксергетический расчет утилизатора теплоты отработанных газов для двигателя внутреннего сгорания марки 6ЧСП18/22. На основе приведенного расчета определены эксергетические потери и эксергетическая эффективность утилизатора, которые позволяют выполнить комплексную оценку устройства с учетом всех видов потерь.

Ключевые слова: эксергетический анализ, когенерационные установки, двигатели внутреннего сгорания, утилизация теплоты отработанных газов.

Введение. Когенерационные технологии нашли широкое применение в энергетических установках на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС), применение которых позволяет повысить эффективность работы таких установок. Когенерация представляет собой способ синхронной выработки механической (или электрической) и тепловой энергии от первичного источника энергии с одной энергетической установки. При этом для получения тепловой энергии используются вторичные энергоресурсы (ВЭР) ДВС, а именно, теплота отработанных газов, теплота воды системы охлаждения, теплота масла системы смазки, теплота нагретого воздуха системы тербонадува двигателей. Конструктивные схемы исполнения когенерационных установок (КГУ) могут быть различными [1] от которых зависит экономичность и экологичность КГУ в целом. В данной работе рассматривается КГУ на базе ДВС с утилизатором теплоты отработанных газов (ОГ).

Актуальность проблемы. Среди всех ВЭР ДВС отработанные газы имеют наибольший энергетический потенциал, на их долю приходится около 20-40 % от всего количества теплоты выделяемого при сгорании топлива [2, 3]. Использование этого тепла существенно позволяет повысить эффективность КГУ, а также уменьшить негативное влияние ОГ на окружающую среду, связанное с уменьшением выбросов вредных веществ.

Постановка задачи. При традиционном подходе эффективность утилизатора теплоты оценивается с использованием энергетического (первый закон термодинамики) и энтропийного (второй закон термодинамики) методов термодинамического анализа [4]. В указанных подходах не учитываются потери неэнтропийного характера (например, потери на гидравлическое и газодинамическое сопротивление) и применение традиционных методов не позволяет выполнить комплексную оценку устройства в целом, которая учитывает эти факторы.

С учетом вышесказанного целесообразно проводить оценку эффективности утилизатора теплоты с помощью эксергетического метода [5, 7], который базируется на двух законах термодинамики и позволяет оценить степень обратимости термодинамических процессов в утилизаторе теплоты с учетом всех видов энергетических потерь, которые зависят от температурных уровней теплоносителей и параметров состояния окружающей среды.

При расчете эксергетической эффективности утилизаторов теплоты ОГ необходимо принимать во внимание следующие факторы:



1. При значительном охлаждении ОГ уменьшается температурный напор, что приводит к увеличению поверхности нагрева утилизационного устройства, что, в свою очередь, увеличивает газодинамическое сопротивление выпускного тракта.
2. Уровень снижения температуры охлаждения ОГ ограничен порогом, при котором происходит конденсация водяных паров, содержащих компоненты серной кислоты, которые вызывают коррозию выпускного трубопровода.
3. Потери, обусловленные необратимостью процесса теплопередачи.
4. Гидравлические и газодинамические потери.
5. Потери при теплообмене с окружающей средой.
6. Потери за счет теплопроводности вдоль утилизатора (учет неизотермичности поверхности).

Цель работы. Выполнить эксергетический анализ утилизатора теплоты ОГ, определить эксергетическую эффективность утилизатора тепла с последующей его оценкой. На основе проведенного анализа определить основные направления по улучшению эффективности утилизатора тепла ОГ.

Изложение материала исследования. Объектом исследования является утилизатор теплоты ОГ ДВС, который совместно с ДВС марки 6ЧСП18/22 образует КГУ и является отдельным ее модулем. Утилизатор представляет собой кожухотрубный теплообменный аппарат (ТА), охлаждающей средой в котором является пресная вода. Основные характеристики утилизатора и физические параметры теплоносителей приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные характеристики утилизатора теплоты ОГ ДВС и физические параметры теплоносителей

Наименование	Обозначение	Значение
Мощность, кВт	Q	49,139
Площадь теплообменной поверхности, м ²	$F_{\text{ПОВ}}$	6,86
Количество газов проходящих через утилизатор, кг/с	G_1	0,1833
Количество пресной воды проходящей по трубкам утилизатора, кг/с	G_2	2,19
Давление ОГ на входе в утилизатор и на выходе из него, МПа	$p'_1; p''_1$	0,5; 0,49939
Температура ОГ на входе в утилизатор и на выход из него, К	$T'_1; T''_1$	673; 433
Давление пресной воды на входе в утилизатор и на выходе из него, МПа	$p'_2; p''_2$	0,2; 0,199181
Температура пресной воды на входе в утилизатор и на выход из него, К	$T'_2; T''_2$	293; 363

Основанием для осуществления эксергетического анализа утилизатора являются материальный и энергетический балансы.

Материальный баланс для утилизатора теплоты ОГ ДВС выглядит следующим образом:

$$m'_1 + m'_2 = m''_1 + m''_2, \quad (1)$$

где m'_1, m''_1 – масса теплоносителя 1 (отработанных газов) на входе и на выходе из ТА соответственно; m'_2, m''_2 – масса теплоносителя 2 (пресная вода) на входе и на выходе из ТА соответственно.

Уравнение теплового баланса для двух теплообменивающихся сред можно записать в виде равенства

$$Q = G_1 c_{p1} (t'_1 - t''_1) \eta = G_2 c_{p2} (t'_2 - t''_2), \quad (2)$$



где G_1 и G_2 – весовые количества ОГ и, соответственно, пресной воды, проходящих через аппарат; c_{p1} и c_{p2} – средняя теплоемкость ОГ и пресной воды; $t'_1 - t''_1$ и $t'_2 - t''_2$ – изменение температур ОГ и пресной воды; η – коэффициент, учитывающий потери тепла в окружающую среду.

Для выполнения эксергетического анализа когенерационной установки на базе ДВС с утилизатором теплоты ОГ ее необходимо разбить на компоненты, условно очерченные контрольной поверхностью, в пределах которой происходят какие-либо изменения с энергией потока [5].

Эксергию потока вещества (теплоносителя), который пересекает неподвижную контрольную поверхность, в общем случае определяют по формуле 3:

$$E = E_k + E_p + E_{ph} + E_{ch} + E_j + \dots, \quad (3)$$

где E_k – кинетическая эксергия; E_p – потенциальная эксергия; E_{ph} – физическая эксергия; E_{ch} – химическая эксергия; E_j – ядерная эксергия.

В данной работе выполняется эксергетический анализ только одного компонента когенерационной установки – утилизатора теплоты ОГ, в котором происходит теплообмен между ОГ и охлаждающей жидкостью при условии, что их химический состав в процессе теплообмена остается без изменений, то есть $E_{ch} = 0$. Кроме того можно пренебречь изменением кинетической энергии потоков теплоносителей (ОГ и пресной воды), так как возникающее в утилизаторе падение давления не приводит к заметному изменению движения теплоносителей. С учетом выше сказанного эксергия потока вещества (теплоносителя) характеризуется только физической составляющей $E = E_{ph}$.

Для составления эксергетического баланса используются следующие понятия: эксергия топлива E_F , эксергия продукта E_P , деструкция эксергии E_D и потери эксергии E_L [1, 6]. Таким образом, эксергетический баланс утилизатора теплоты ОГ ДВС будет иметь следующий вид

$$E_F = E_P + E_D + E_L. \quad (4)$$

Эксергетический баланс исследуемого утилизатора теплоты ОГ ДВС можно представить в виде диаграммы Грассмана-Шаргута рис. 1. На ней сумма физических эксергий теплоносителей E'_{ph1} и E'_{ph2} на входе в утилизатор равна эксергии топлива E_F и изображена в виде заштрихованной области на входе. Уменьшение эксергии связанное с деструкцией E_D (необратимостью процесса теплопередачи) изображено двойной штриховой. На выходе из утилизатора ширина заштрихованной части соответствует эксергии продукта $E_P = E''_{ph1} + E''_{ph2}$, а ширина выделенной части диаграммы с штриховкой меньшего шага соответствует потерям эксергии E_L .

Согласно материальному балансу в утилизатор входят два теплоносителя (ОГ и пресная вода), сумма физических эксергий которых представляет собой эксергию топлива E_F .

$$E_F = E'_{ph1} + E'_{ph2}, \quad (5)$$

где E'_{ph1} – физическая эксергия ОГ на входе в утилизатор; E'_{ph2} – физическая эксергия пресной воды на входе в утилизатор.

Рассматриваемые теплоносители на выходе из утилизатора теплоты за пределами контрольной поверхности имеют эксергию, которая отличается от эксергии на входе. Сумма эксергий ОГ и пресной воды на выходе из утилизатора представляет собой эксергию продукта E_P :



$$E_p = E''_{ph1} + E''_{ph2}, \quad (6)$$

где E''_{ph1} – физическая эксергия ОГ на выходе из утилизатора; E''_{ph2} – физическая эксергия пресной воды на выходе из утилизатора.

Физическая эксергия теплоносителя определяется по формуле

$$E_{ph} = (H - H_0) - T_0(S - S_0) = \Delta H - T_0\Delta S, \quad (7)$$

где $\Delta H, \Delta S$ – энтальпия и энтропия, отсчитываемые от состояния, определяемого давлением p_0 и температурой T_0 окружающей среды ($p_0 = 101325 \text{ Па}$, $T_0 = 293 \text{ К}$), до состояния, определяемого параметрами p и T .

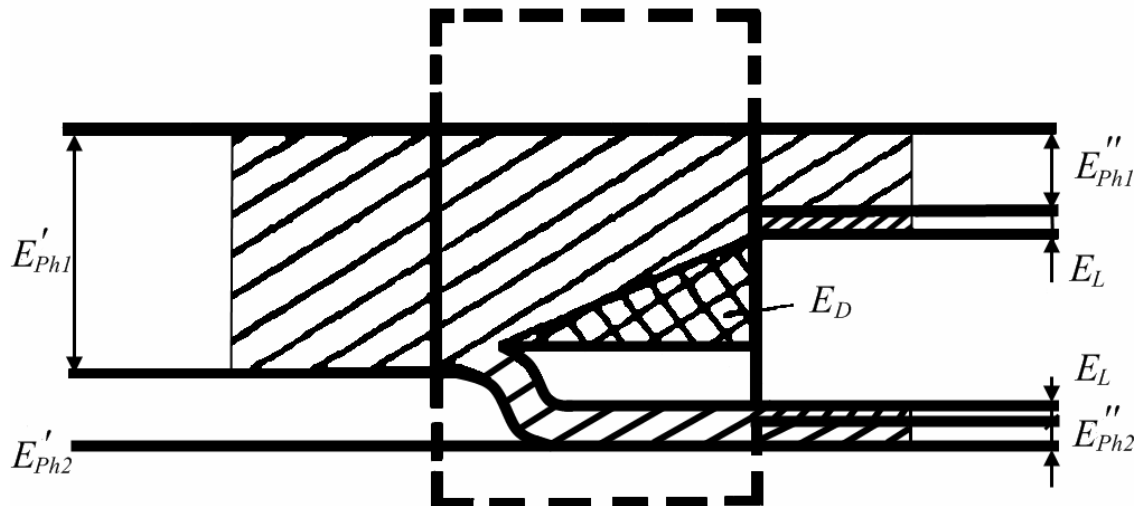


Рисунок 1 – Диаграмма Грассмана-Шаргута для утилизатора теплоты ОГ ДВС

Вследствии необратимости процесса теплопередачи имеют место внутренние потери эксергии в ТА, поэтому $E_F > E_p$.

Разница эксергии топлива E_F и эксергии продукта E_p равна сумме деструкции эксергии E_D (внутренние потери эксергии) и внешних потерь эксергии E_L в ТА.

$$E_F - E_p = E_D + E_L. \quad (8)$$

Расчет деструкции эксергии производится по формуле:

$$E_D = T_0\Delta S_{gen}, \quad (9)$$

где ΔS_{gen} – изменение энтропии системы вследствие необратимых процессов.

Полное изменение энтропии системы при теплообмене в утилизаторе

$$\Delta S_{gen} = \Delta S_2 - \Delta S_1, \quad (10)$$

где ΔS_1 – изменение энтропии теплоносителя 1 (горячего теплоносителя); ΔS_2 – изменение энтропии теплоносителя 2 (холодного теплоносителя).

Для любого теплоносителя изменение энтропии определится в виде:

$$\Delta S = S'' - S', \quad (11)$$

где S' , S'' – энтропии отсчитываемые от состояния, определяемого давлением p_0 и температурой T_0 окружающей среды ($p_0 = 101325 \text{ Па}$, $T_0 = 298,15 \text{ К}$), до состояния, определяемого параметрами p и T .



Помимо деструкции эксергии в утилизаторе теплоты имеют место потери от газодинамического и гидравлического сопротивлений, потери от теплообмена с окружающей средой и потери вызванные теплопроводностью вдоль утилизатора [1, 7]. Последние потери минимальны, поэтому ими можно пренебречь.

Потери от газодинамических сопротивлений равны:

$$E_{z.c.} = T_0 R_{\Gamma} \ln \frac{p_1'}{p_1''}, \quad (12)$$

где $R_{\Gamma} = \frac{R}{\mu_{\Gamma}}$ – газовая постоянная ОГ; p_1', p_1'' – давление ОГ на входе и на выходе из утилизатора.

Потери от гидравлических сопротивлений равны:

$$E_{гид.с.} = \frac{G_2 \Delta p_2}{\gamma_2 \eta_H} + T_0 G_2 \frac{\beta \Delta p_2}{\gamma_2}, \quad (13)$$

где G_2 – массовый расход пресной воды; Δp_2 – перепад давления пресной воды в утилизаторе; η_H – коэффициент полезного действия насоса пресной воды; γ_2 – удельная масса пресной воды; β – коэффициент объемного (термического) расширения пресной воды.

Потери от теплообмена с окружающей средой рассчитываются по формуле:

$$E_{окр.с.} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right), \quad (14)$$

где Q – количество теплоты теряемое в окружающую среду; T_1 – температура теплоносителя 1 (горячего теплоносителя).

Если учесть, что $1 - \frac{T_0}{T_1} = \tau_e$ (τ_e – эксергетическая температурная функция), то выражение 15 приобретает следующий вид:

$$E_{окр.с.} = Q \tau_e, \quad (15)$$

Этот вид потерь связан с потоком эксергии, направленным от аппарата в окружающую среду через тепловую изоляцию.

Эксергетическая эффективность утилизатора ОГ ДВС равна отношению эксергии продукта к эксергии топлива:

$$\eta_{ex} = \frac{E_P}{E_F} = \frac{E_F - E_D - E_{z.c.} - E_{гид.с.} - E_{окр.с.}}{E_F}. \quad (16)$$

Относительная деструкция эксергии утилизатора равна:

$$y_D = \frac{E_D}{E_F}. \quad (17)$$

Относительные потери эксергии утилизатора определяются как:

$$y_L = \frac{E_L}{E_F}. \quad (18)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2.



Таблица 2 – Результаты расчетов исследования

Наименование	Обозначение	Значение
Удельная эксергия ОГ на входе в утилизатор, кДж/кг	e'_{ph1}	1577
Удельная эксергия воды на входе в утилизатор, кДж/кг	e'_{ph2}	0,1
Удельная эксергия ОГ на выходе из утилизатора, кДж/кг	e''_{ph1}	1021
Удельная эксергия воды на выходе из утилизатора, кДж/кг	e''_{ph2}	70
Деструкция эксергии, кДж/кг	e_D	466
Потери эксергии, кДж/кг	e_L	20
Кэф. эксергетической эффективности утилизатора, %	ε	0,69
Относительная деструкция эксергии утилизатора, %	y_D	0,29
Относительные потери эксергии утилизатора, %	y_L	0,0127

Выводы. В работе проведен эксергетический расчет утилизатора теплоты ОГ ДВС (марки 6ЧСП18/22), выполненного в виде кожухотрубного теплообменного аппарата, в котором охлаждающей средой является пресная вода. В результате определены эксергетические потери и эффективность утилизатора теплоты ОГ. Существенное уменьшение эксергии связано с необратимостью процесса теплопередачи (деструкция эксергии). Помимо деструкции имеют место потери эксергии, наибольшей из которых есть потеря, обусловленная несовершенством тепловой изоляции, что приводит к снижению эксергии потоков на выходе из утилизатора. Основным условием необходимым для повышения эффективности утилизатора является обеспечение минимальных потерь в окружающую среду, что можно осуществить с помощью усовершенствования тепловой изоляции и интенсификацией процесса теплопередачи между теплоносителями.

Как видно из табл. 2, где приведены результаты расчета коэффициента эксергетической эффективности утилизатора, получены довольно высокие значения коэффициента, обусловленные тем фактом, что на выходе из утилизатора физическая эксергия ОГ (составляющая продукта) имеет довольно большие значения. Без учета физической эксергии ОГ на выходе из утилизатора коэффициент эксергетической эффективности ε будет очень малым, что указывает на неэффективное использования эксергии ОГ как энергоресурса.

Следовательно, из вышеизложенного необходимо определить пути более эффективного использования эксергии ОГ с минимально возможной деструкцией в осуществляемых при этом процессах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горобець В. Г. Визначення ефективності енергетичних систем для виробництва електричної та теплової енергії методами эксергетичного аналізу / В. Г. Горобець, Б. Х. Драганов // Відновлювальна енергетика. – 2010. – № 3 (22). – С. 5-12.
2. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания : учебник в 2 т. / И. В. Возницкий, А. С. Пунда. – М. : Моркнига, 2008. – Т. 2. – 2008. – 470 с.
3. Самсонов В. И. Двигатели внутреннего сгорания морских судов : учебник для высш. учеб. заведений / В. И. Самсонов, Н. И. Худов. – М. : Транспорт, 1990. – 368 с.
4. Селиверстов В. М. Термодинамика теплопередача и теплообменные аппараты : учебник для институтов водн. трансп. / В. М. Селиверстов, П. И. Бажан. – М. : Транспорт, 1988. – 287 с.
5. Шаргут Я. Эксергия / Ян Шаргут, Ричард Петела; перев. с польск. под ред. В. М. Бородянского. – М. : Энергия, 1968. – 280 с.



6. Тсатсаронис Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы / Джордж Тсатсаронис ; [научн. ред. и перев. с англ. Т. В. Морозюк]. – Одесса : Студия «Негоциант», 2002. – 152 с.

7. Бродянский В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / Виктор Михайлович Бродянский. – М. : Энергия, 1973. – 296 с.

Горобець В.Г., Богдан Ю.О. ОЦІНКА ЕКСЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УТИЛІЗАТОРІВ ТЕПЛОТИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ В КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВКАХ НА БАЗІ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

У статті розглядається проблема утилізації теплоти відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння в когенераційних установках. Наведено ексергетичний розрахунок утилізатора теплоти відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згоряння марки 6ЧСП18/22. На основі наведеного розрахунку визначені ексергетичні втрати й ексергетична ефективність утилізатора, які дозволяють виконати комплексну оцінку устрою з урахуванням всіх видів втрат.

Ключові слова: ексергетичний аналіз, когенераційні установки, двигуни внутрішнього згоряння, утилізація теплоти відпрацьованих газів.

Gorobets V.G., Bogdan Y.A. EVALUATION OF EXERGY EFFICIENCY FOR HEAT UTILIZERS OF EXHAUST GASES IN THE SYSTEM OF CO-GENERATION PLANT BASED ON INTERNAL COMBUSTION ENGINES

The article deals with the problem of utilization of exhaust gases heat of internal combustion engines in the co-generation plants. Exergy calculation for heat utilizers of exhaust gases for internal combustion engine (type 6ЧСП18/22) is presented. On the basis of the given calculation exergy losses and exergy efficiency of the utilizer are defined. These allow executing a complex evaluation of the device taking into account all types of losses.

Keywords: exergy analysis, co-generation plants, internal combustion engines, heat recovery of exhaust gases.



СУЧАСНА СУДНОВА ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА Й ОСОБЛИВОСТІ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЇЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Настасенко В.О.

Херсонська державна морська академія

Розглянуті основні різновиди вітрових енергетичних установок, які можуть бути використані на сучасних судах для зменшення витрат палива на базі нафти і газу. Показано, що жоден з існуючих різновидів не дозволяє повністю вирішити проблему заміни традиційних видів палива, однак вони рекомендовані, як додаткові джерела енергії, що потребує для них розробки правил охорони праці при експлуатації, для яких в даній роботі виділені основні початкові положення.

Ключові слова: економія палива, вітрова енергетика, вітрила, електрогенератори.

Вступ. Аналіз стану проблеми та постановка завдання. В умовах сьогодення на морському транспорті найбільш поширеним засобом утворення енергії для руху суден є двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ). Основними видами палива, яке вони використовують, є дизельне або грузливе [1, 2], які є продуктами переробки нафти.

Однак при згорянні нафтових палив ці продукти безповоротно втрачаються, оскільки високомолекулярні вуглеводні, які їх складають, перетворюються на вуглекислий газ та воду і ці процеси незворотні. Тому нафтопродукти є невідновлюваними речовинами і їх запаси у світі неупинно зменшуються. За прогнозами ЮНЕСКО запаси розвіданої нафти будуть вичерпані до 2050 року [3], а з урахуванням удосконалення розвідки нових та інтенсифікації видобутку занедбаних родовищ – до 2100 року [3]. Перевід ДВЗ на газове паливо [2] також не дозволяє розв'язати цю проблему, оскільки газ теж є невідновлюваним паливом і його запаси теж неупинно зменшуються, хоч і дозволяють подовжити строки до повної його витрати відповідно до 2080 і до 2150 років [3].

Вичерпність традиційних видів палива є неминучою і визначена лише періодом часу у кілька десятків років, тому пошук шляхів його заміни є актуальною і важливою проблемою, над розв'язанням якої працюють вчені усього світу, в т. ч. в Україні [1, 2, 4-6].

Серед можливих шляхів розв'язання даної проблеми перспективним є використання на судах транспортного флоту вітрової енергетики. У сучасних умовах їй приділяється найбільша увага, оскільки лише півтора століття тому суднова енергетика була в основному вітрильною, а на суходолі – вітрові енергетичні установки знайшли широке використання.

Таким чином, в даній роботі основна увага приділена судовій вітрової енергетиці та вітроенергетичним установкам, що обумовлено відносною їх дешевизною і простотою в утворенні і використанні. Тому головною метою даної роботи є аналіз можливостей розвитку вітрової енергетики та її використання на сучасних судах транспортного флоту.

Складність поставленої задачі полягає в тому, що у сучасному судноплаванні є свої особливості і обмеження. Вони обумовлені великими потужностями ДВЗ (до 100 тис. кВт), великими витратами палива (до 350 тон на добу), жорсткими строками поставки вантажів, важкими умовами експлуатації суден (навіть у сильний вітер і шторм), умовами повного використання корисної вантажопідємності судна (яку слід витратити на перевезку вантажів при мінімізації питомої ваги енергетичних установок на одиницю їх потужності), габаритами судна та наявністю або відсутністю вільного місця на його палубі і надбудовах.

Наукову новизну виконуваної роботи складає пошук найбільш перспективних шляхів розвитку судової вітроенергетики і безпечних умов її експлуатації. Вирішення даних задач має велике значення, оскільки використання вітрових судових енергетичних установок на флоті в сьогодення набуло досить великого поширення.



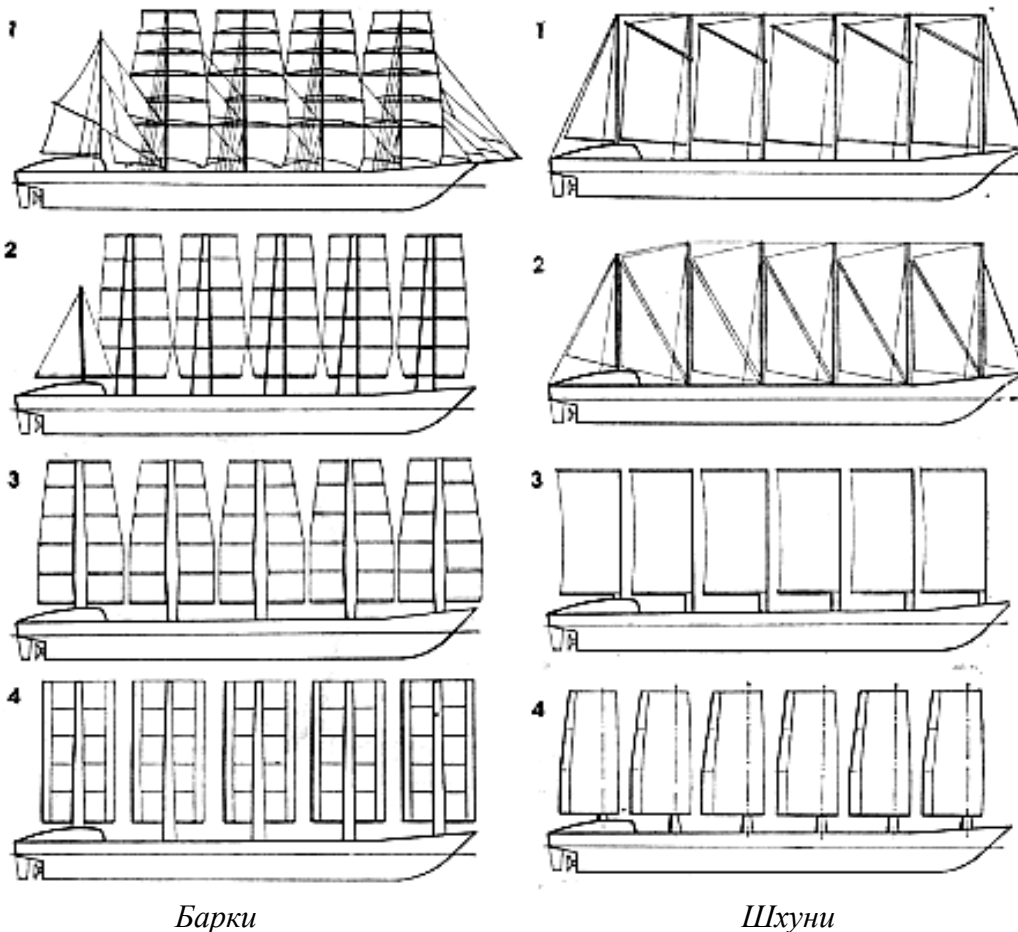
Аналіз існуючих вітрових енергетичних установок та безпеки їх використання. На сучасному рівні розвитку науки і техніки для суднової вітроенергетики можна виділити 3 основні напрямки:

1. Вітрильно-щоглова [7].
2. Система летючого крила «SkySails» [8].
3. Система вітрових електричних генераторів [1, 2].

Традиційний напрямок – використання щоглових вітрил, має суттєві недоліки:

- 1) потребує значної вітрильності для великотоннажних суден, що веде до потреби у великій кількості (5 і більше) занадто високих (≈ 50 м) сильно навантажених щогл і фактично обмежує водотоннажність оснащуваних ними суден до 10 тис. т.
- 2) ускладнює використання палуби для перевезення вантажів;
- 3) має складну систему такелажу для кріплення і розгортання вітрил;
- 4) потребує великої кількості екіпажу для управління вітрилами;
- 5) має значний крен та хитавицю при сильних поривах вітру;
- 6) має велику залежність від штормової обстановки;
- 7) ускладнює маневрування у вузькостях плавання, особливо у протоках і каналах (введення в експлуатацію Суецького каналу на початку ХХ століття привело до остаточної відмови від вітрильного приводу руху суден, на користь парового, тобто – механічного).

Всі перелічені вище недоліки створюють небезпеку для використання вітрил на суднах, тому вони потребують більш ретельного аналізу, оскільки наприкінці ХХ століття почалися активні роботи по розвитку сучасного вітрильного флоту.



Барки

Шхуни

Рисунок 1 – Щоглова система вітрил сучасних суден і основні варіанти її виконання:

барки: 1) класичний барк дедвейтом 16600 т, вітрильність 6200 м²; 2) проект Мічиганського університету; 3) проект В. Пролса; 4) проект JAMDA (Японія); *шхуни:* 1) проект П. Шенцле; 2) проект Ф. Мак-Лири; 3) проект Принстонського університету (щогли поворотні); 4) проект Л. Бергессона (вітрило-крило)



Обумовлено це тим, що були запропоновані спрощені системи прямих і косих щоглових вітрил (рис. 1) [7] з підйомом і опусканням їх в автоматичному режимі за рахунок розгортання і згортання у футляри (як у переносного кіноекрану).

Найбільш простими з них є вітрила з одного гнучкого полотна, що розгортається на всю висоту щогли, при цьому косі вітрила більш доцільні з умов навантаження щогли. Найбільш перспективними з них вважаються вітрила типу надувного крила, що збільшує к.к.д. використання вітру.

Усі нові види вітрил зменшують вказані вище недоліки обслуговування судна і підвищують безпеку його експлуатації, однак не усувають головних проблем – використання палуби, значного кренування та залежності від штормової обстановки. Окрім того, їх використання потребує великої вітрильності і кількості щогл для багатотоннажних суден: $\approx 1,2$ тис. m^2 та 1 щогла на кожні 3 тис. тон водотоннажності, а їх залежність від швидкості вітру – не гарантує потрібної швидкості для своєчасної доставки вантажу, що є головною вимогою роботи торговельного флоту. Тому щоглові вітрила можуть бути рекомендовані для суден, типу прогулянкових яхт та катамаранів нерегулярного сполучення (рис. 2).



Рисунок 2 – Сучасне парусне судно «Royal Clipper» 1999 року побудови круїзної компанії Star Clippers Incorporation, екіпаж судна 120 чоловік, з них 100 – обслуговуючий персонал для 228 пасажирів

Окрім вітрил, судно «Royal Clipper» має звичайну суднову енергетичну установку, яка складається з двох дизелів типу «Caterpillar» потужністю 16550 кВт, що дозволяє розвивати судну швидкість до 17 вузлів, яка є максимально допустимою при експлуатації вітрил [2]. Цим самим гарантується безпека експлуатації судна у разі відсутності вітру та своєчасна доставка пасажирів у порт призначення, однак дублювання системи вітрил дизельними установками потребує додаткових приміщень і обладнання:

- 1) машинного відділення для розміщення двигунів та паливних цистерн з системою прийомки, підготовки (сепарації і підігріву), перекачування і подачі палива, з їх насосами і трубопроводами, та системами контролю;
- 2) інших систем для обслуговування двигунів – їх змащення та охолодження, з відповідними масляними цистернами та системами підготовки і подачі масла, а також охолоджувальної води;
- 3) системи подачі повітря в двигуни і машинне відділення та відводу відпрацьованих газів, та ін.;
- 4) систем автоматизованого і прямого керування на робочому місті роботою двигунів;
- 5) редукторів, дейдвудного валу та ходового гвинта з системами їх обслуговування;
- 6) системи пожежогасіння, вентиляції, освітлення, безпеки життєдіяльності команди машинного відділення, та інші системи і обладнання.



Сукупність перелічених машин, пристроїв і систем не тільки збільшує складність обслуговування і витрати на них, а й відповідно зменшує провозоздатність судна, що недоцільно для транспортних перевезень, але є вимушеним кроком, оскільки повна заміна двигунів судна системою вітрил поки що неможлива. Однак перевагою при цьому є економія палива до 20-30%, тому можливі варіанти гібридного використання вітрил і традиційних двигунів для окремих видів суден, наприклад – на малих риболовецьких траулерах [9].

Оскільки, більш доцільними є варіанти повного переходу на вітрові енергетичні установки, тому потрібен пошук нових технічних рішень, який продовжується у різних наукових організаціях, в т.ч. – в ХДМА [1].

В умовах сьогодення більш перспективною у гібридному варіанті використання з головними двигунами судна, вважається система «SkySails» німецької фірми Zeppelin [8] з надувним вітрилом типу літаючого крила, яке закріплене в носовій частині судна (рис. 3).

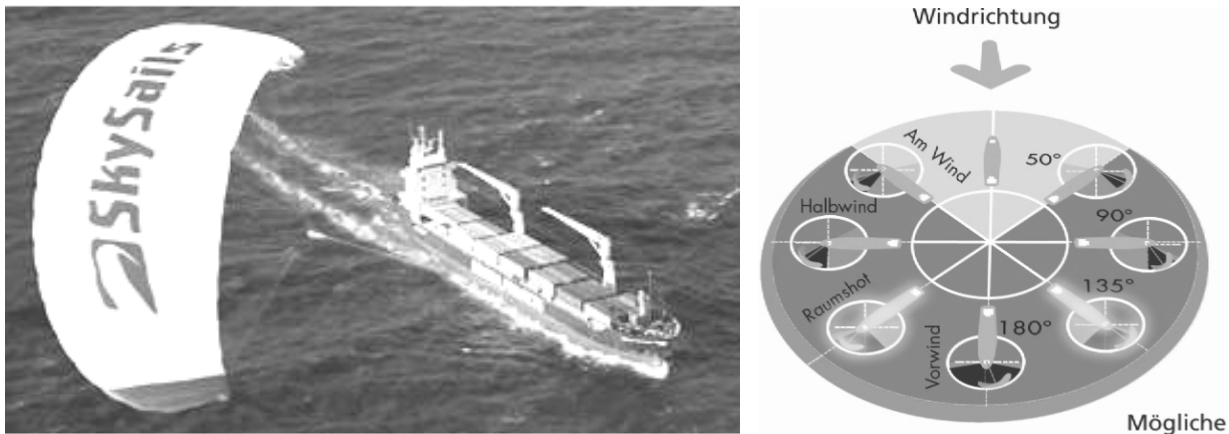


Рисунок 3 – Судно з вітрилом системи «SkySails» і можливості її використання за вітром

Система вітрила типу «SkySails» має значні переваги у порівнянні з щогловими вітрилами:

- 1) дозволяє використовувати палубу для перевезення вантажів (рис. 3);
- 2) більш проста у виготовленні і обслуговуванні (рис. 4-5);
- 3) зменшує кренування судна, в т.ч. – при різких поривах вітру (рис. 6).

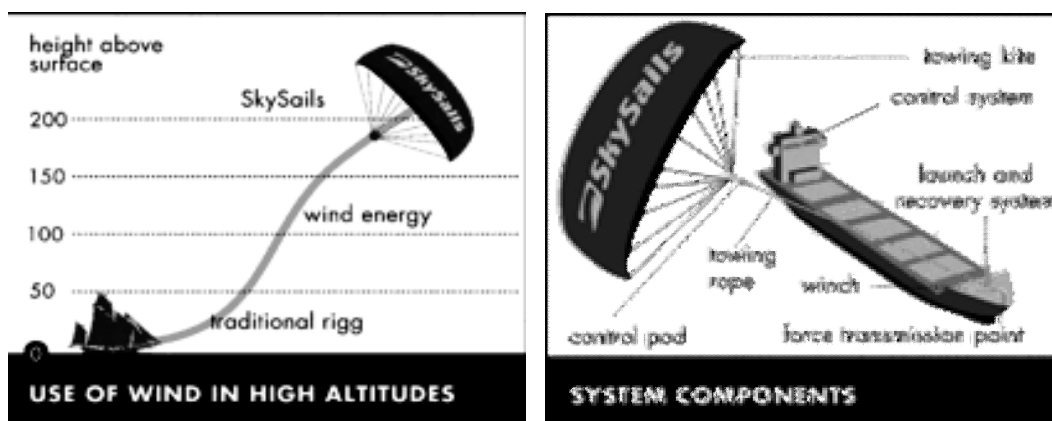


Рисунок 4 – Використання вітру на великій висоті (Use of wind in high altitudes) та елементи системи (system components):

towing kite – підйомне буксирне вітрило типу летючого крила, **control system** – система контролю за рухом вітрила, **launch and recovery system** – система начального підйому вітрила, **towing rope** – буксирний канат, **winch** – лебідка, **control pod** – блок керування, **force transmission point** – силова передавальна установка

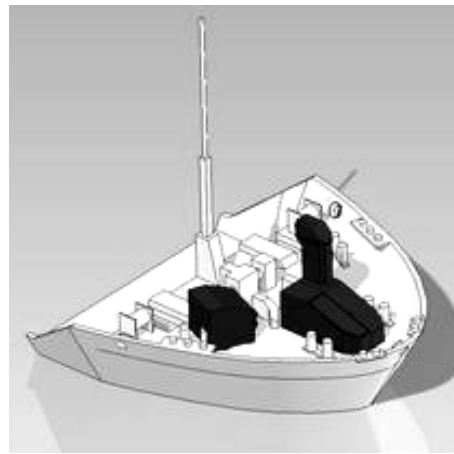


Рисунок 5 – Розташування додаткових механізмів системи «SkySails» на баку судна

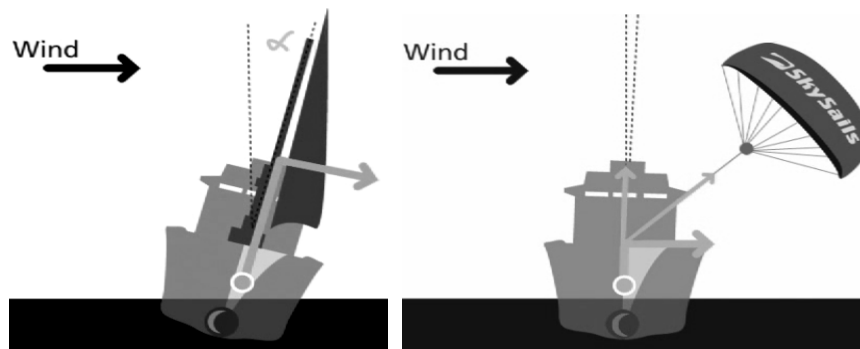


Рисунок 6 – Переваги вітрил системи «SkySails» над щогловими вітрилами

Однак система «SkySails» також має свої обмеження і недоліки:

1. При попутному до ходу судна напрямку вітру у секторі $\pm 45^\circ$ тяглова сила зростає на 15...20 %, а при більших кутах – суттєво зменшується і відсутня при зустрічному вітрі у секторі $\pm 50^\circ$.
2. Потребує відносно складних пристроїв для підйому і опускання вітрила.
3. Потребує присутності членів екіпажу для підйому і опускання вітрила та для його укладки у бункер на баку судна, що є небезпечним при штормовій обстановці.
4. Потребує постійного нагляду і керування вітрилом підготовленим оператором та автоматизованими системами, з використанням окремого ПК і спеціальних комп'ютерних програм, тому оператор повинен бути додатковим членом екіпажу.
5. Потребує спеціальної підготовки операторів-вітрильників високої кваліфікації, які добре розуміють і здатні передбачити можливі еволюції вітрила при його запуску, спуску і складанні, що дуже важко забезпечити в сучасному торговому флоті, де екіпажі змінюються, майже кожних півроку.
6. Ускладнюють слідкування за вітрилом і керування ним вночі.
7. Унеможливають збільшення тягової сили за рахунок збільшення кількості таких вітрил, оскільки це ускладнює управління ними, особливо – потреби уникнення їх зіткнення, перехрещення та перекручування при зміні дії вітру під час ходу судна, а в першу чергу – при їх підйомі та спуску.
8. Занадто вузький сектор ($\pm 45^\circ$) ефективної дії вітру, що суттєво обмежує умови використання системи, при цьому воно можливе тільки на магістральному шляху судна і неможливе у вузькостях плавання та при заході в порти.
9. При відхиленні вітрила від курсу судна (що буває фактично завжди) виникають сили бокової дії, які треба компенсувати поворотом пера руля, що зменшує корисну роботу рушія і двигуна, та ефективність дії паруса в цілому (на рис. 3 – це підтверджується збільшенням сліду піни від руху судна з борту, що протилежний розташуванню вітрила).



10. Система ефективна тільки до швидкостей вітру на висоті крила, яка обмежена у 17 вузлів – при більшій швидкості вітру погіршується штормова обстановка, якої суднам рекомендується уникати.

11. Для великотоннажних суден ефективність використання нині існуючої системи з вітрилом у 320 м², зменшується, тому потребується використання вітрил більших розмірів.

12. Суттєвим недоліком також є відносно висока вартість системи, яка за даними фірми Zerpellin становить від 0,5 до 1,1 млн. євро.

Вказані недоліки складають основні небезпеки використання системи «SkySails», а серед них – можливість пошкодження вітрила і обладнання для його пуску і запуску. Накоплена статистика втрат вітрил, яка за нашими попередніми даними, складає 1-2 вітрила (вартістю від 160 до 320 тис. €) одним оператором за час, поки він не набуде відповідного досвіду, який може бути втрачений при перервах в роботі між рейсами. Тому для підвищення безпеки експлуатації системи «SkySails» потрібне спеціальне навчання операторів та їх тестування, з використанням спеціальних тренажерів, перед кожним рейсом.

Найбільш небезпечними є сам процес початкового підйому вітрила з бункеру гідравлічним підйомником і його запуску (рис. 7), та остаточного його спуску, згортання та укладки у бункер, оскільки крім головного оператора – додаткового члену екіпажу, що керує вітрилом з рубки, він потребує ще 3-х операторів – членів екіпажу, які працюють на баці судна (рис. 8), і можуть потрапити під вітрило або його канати, особливо – при поривах вітру.



Рисунок 7 – Початковий етап підйому і запуску вітрила системи «SkySails» (при спуску вітрила етапи мають зворотній вигляд)

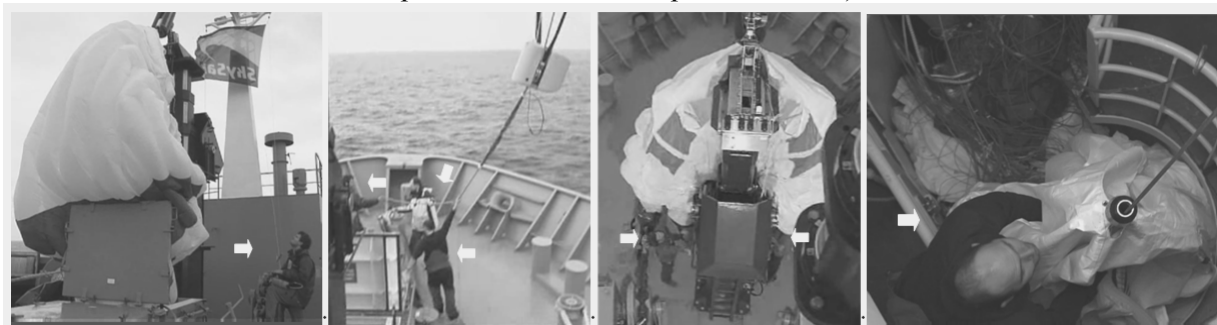


Рисунок 8 – Основні види робіт операторів при підйому та спуску вітрила системи «SkySails»

На етапі підйому та спуску вітрила (рис. 8) один оператор на баці постійно керує гідравлічним підйомником, а два інші – забезпечують безперешкодне виведення вітрила з бункеру, аби введення в нього, зі здуванням повітря із усіх секцій вітрила, а головне – вони утримують підвісний блок керування стропами вітрила від ударів, неминучих при хитах носу судна хвилями та при рухах вітрила поривами вітру, об отвір бункеру та



інші пристрої, що розміщені на баці. Бажана також присутність оператора у бункері для кращої укладки канату, строп, підвісного блоку керування і самого вітрила.

Оскільки правила безпечної експлуатації системи «SkySails» розробляє сама фірма Zeppelin, в даній роботі рекомендоване поки що обмежене втручання інших розробників у цей процес, у разі усунення фірмою вказаних вище недоліків.

Третій напрямок розвитку вітрової енергетики пов'язаний з системою вітрових електричних генераторів [1, 2]. Він має свої переваги і недоліки, у порівнянні з розглянутими вище двома першими напрямками – системою щоглових вітрил [7] та вітрил системи «SkySails» [8].

Існуючі системи вітрових двигунів, по схемі устрою вітрового колеса і його положенню відносно потоку вітру, розділяють на 3 класи: 1) крильчасті, 2) роторні або карусельні, 3) барабанні [10].

1-й клас – включає вітрові двигуни, у яких вітрове колесо *крильчастого типу* розміщується у вертикальній площині, площина його обертання перпендикулярна напрямку потоку вітру, а вісь вітроколеса паралельна потоку вітру (рис. 9).

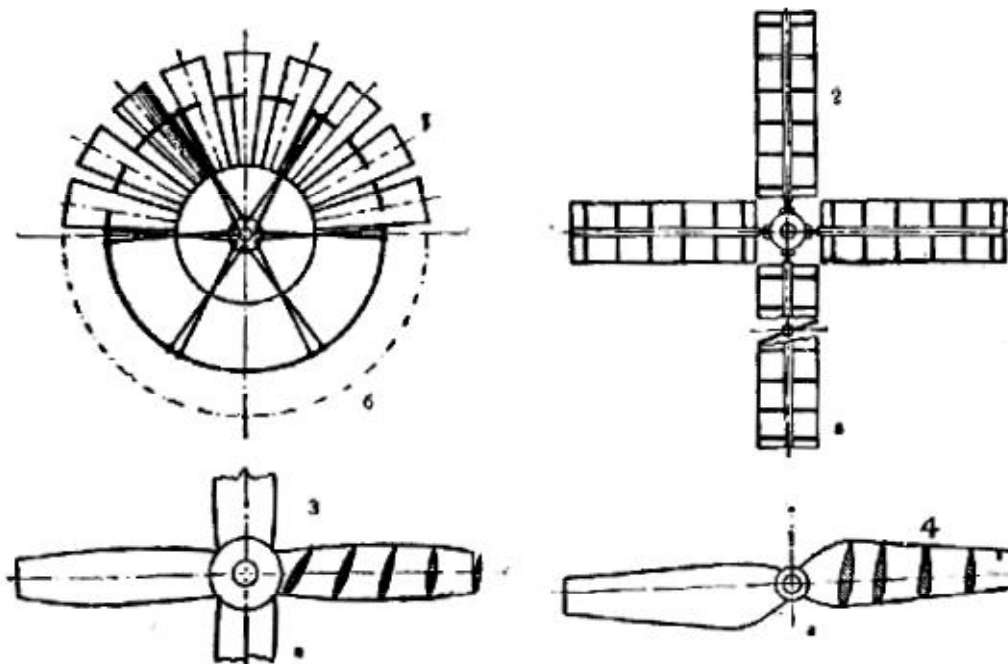


Рисунок 9 – Системи крильчастих вітрових коліс для вітрових двигунів: 1 – багатолопатеве колесо; 2, 3, 4 – малолопатеві вітроколеса

2-й клас – включає системи вітрових двигунів з вертикальною віссю обертання колеса і розділяється по співвідношенню його діаметру D до висоти H , на *карусельні*, у яких $D/H \geq 1$ і *роторні*, у яких $D/H \leq 1$ (рис. 10). При цьому, для підвищення ефективності системи, неробочі лопатні можуть прикриватися від дії вітру ширмою або екраном, а для роторів з увігнуто-опуклими лопатнями і для ротора Савоніуса – асиметрія дії сил вітру забезпечується різною обтічністю форми і розташуванням лопатній, що дозволяє вилучити ширму або екран.

3-й клас – включає системи вітродвигунів з горизонтальною віссю обертання вітрового колеса, перпендикулярною до напрямку вітру, що працюють за принципом млинового колеса і мають назву *барабанних* (рис. 11).

Не зважаючи на те, що к.к.д. вітрових електрогенераторів, на відміну від вітрил для безпосереднього руху судна, становить лише 25-50 %, але вироблювана ними енергія стає вже не механічною, а електричною, яка більш надійна і зручна у використанні і допускає відносно просте її перетворення в інші види енергії, а також може легко накопичуватися для наступної дії у безвітряну погоду. Їх перевагою також є широке використання на

суходолі, де вже накопичений великий досвід конструювання і безпечної експлуатації вітрових двигунів.

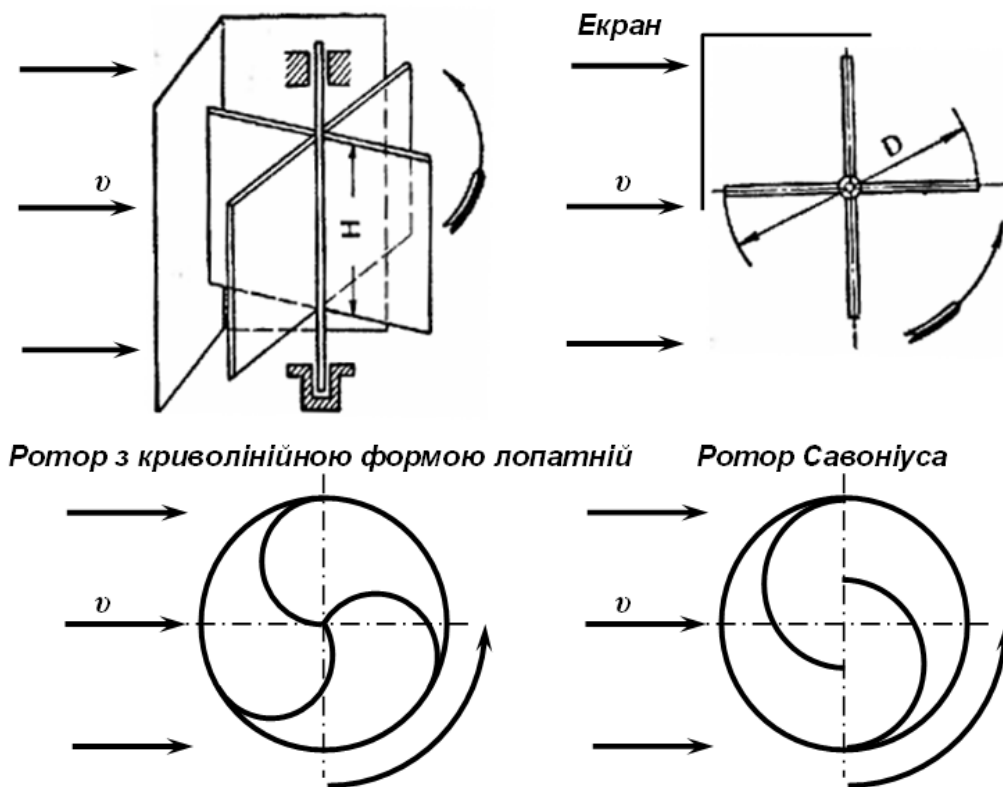


Рисунок 10 – Схеми вітрових двигунів з вітровим колесом карусельного та роторного типів

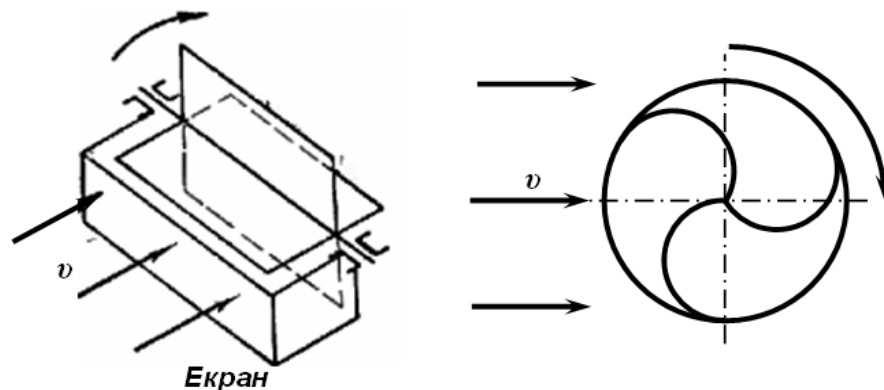


Рисунок 11 – Схеми вітрових двигунів із вітровим колесом барабанного типу

Однак використання на морських судах вітроенергетичних установок крильчастого типу – найбільш поширеного на суходолі, є проблематичним, в першу чергу – за рахунок занадто великих розмірів лопатній при відносно малій енергетичній віддачі системи, потужність якої залежить від розмірів лопатній у співвідношенні, показаному на рис. 12 [6].

Таким чином, для заміни головного двигуна з потужністю > 10000 кВт вітровим двигуном крильчастого типу, потрібний діаметр роторів наближається до 200 м, для чого немає вільного місця на палубі, оскільки вітрові двигуни ще й потребують повертання навколо стійки при зміні напрямку вітру [1, 10]. Окрім цього, вони негативно змінюють остійність судна, їх лопатні небезпечні при русі по колу, а їх мерехтіння може визвати епілепсію та нанести іншу шкоду здоров'ю членам екіпажу.

Якщо на суходолі безпека експлуатації подібних вітрових електричних установок вирішується розміщенням їх у відлюдних місцях, то на судні такої можливості немає, що потребує рішення даної проблеми, оскільки відомі розробки систем з крильчатими



вітровими електрогенераторами невеликої потужності для окремих типів суден, у яких є місце для їх розміщення.

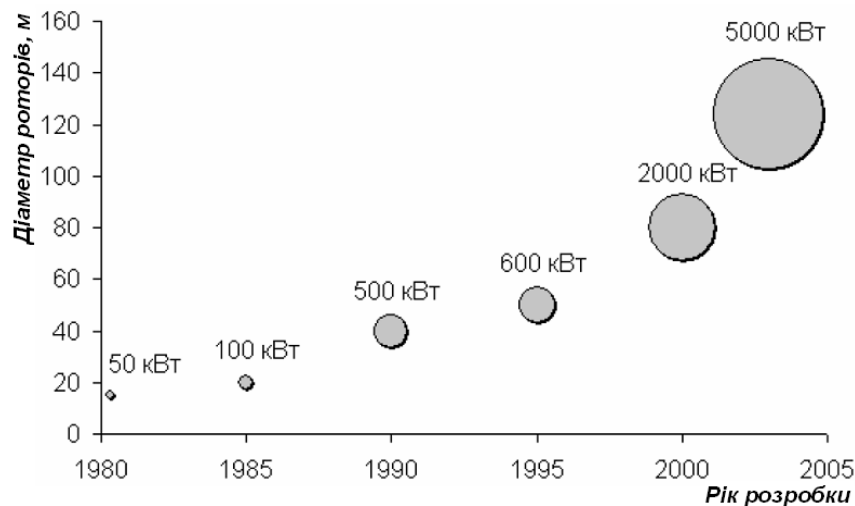


Рисунок 12 – Співвідношення потужності крильчастих вітрових електроенергетичних установок і діаметрів їх роторів в межах кола варіювання раціональних частот їх обертання

Наприклад, в Японії, у Bulletin of Marine Engineering in Japan, що був виданий в 2002 році, був представлений проект дообладнання балкара дедвейтом 91 тис. тон, призначеного для перевезення вугілля, 12 вітровими електрогенераторами по 12,4 кВт (рис. 13). При зальній потужності генераторів 148,8 кВт, що складає 1,3 % від потужності головного двигуна у 11672 кВт, середня економія палива досягає 129,6 кг за добу і до 40 тон за рік [2].

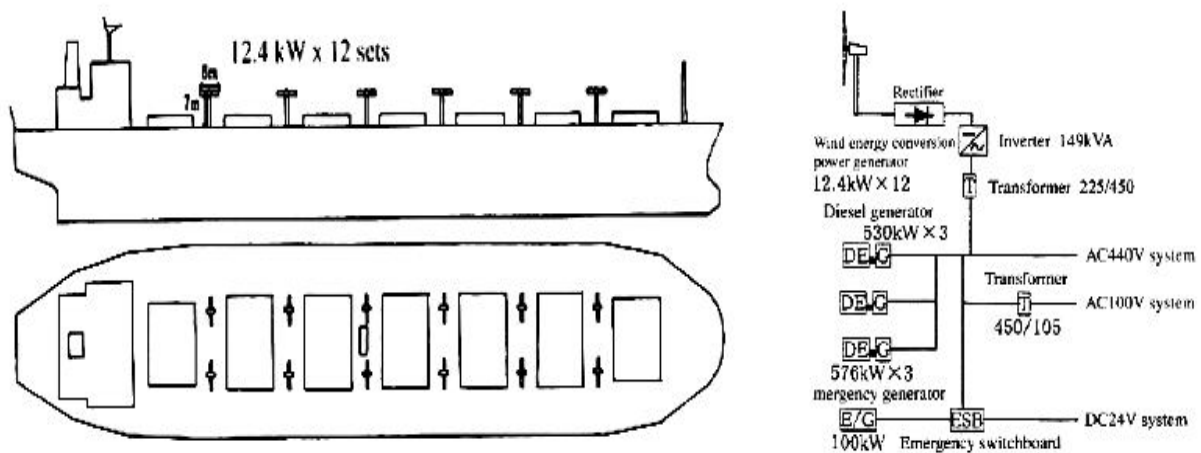


Рисунок 13 – Проект дообладнання вугільного балкара вітровими електрогенераторами з робочими колесами крильчастого типу

Інший варіант використання вітрових електрогенераторів роторного типу, встановлених на поромі Stena Jutlandica, що курсує між Гетеборгом і Фрідеріксхаффеном [2], показаний на рис. 14.

Два вітрових електричних генератори невеликої потужності приводяться у рух вертикальними роторами, що встановлені на спеціальних 4-х метрових щоглах у носовій частині судна. За рік вони виробляють до 230 тис. кВт/год. електричної енергії, що дозволяє економити до 50 тон палива.

Безпека даних систем забезпечена винесенням їх на маловикористовувану частину судна, однак доцільним було б її огороження леєрами та сіткою, які не перешкоджають дії вітру, щонайменше – до висоти росту людини, оскільки винесення лопатній на цю ж висоту усуне небезпеку, але не зменшить психологічного тиску на свідомість людини, що попаде в зону лопатній.



Рисунок 14 – Установка вітрових електрогенераторів на поромі Stena Jutlandica

Таким чином показано, що доцільне використання вітрогенераторів і мінімальної потужності, якщо воно не перешкоджає перевозці, завантаженню і вивантаженню вантажів і забезпечує позитивний економічний ефект, тому для них потрібна розробка правил і умов безпечної експлуатації.

Ще більш доцільним може бути використання комбінацій з усіх видів нетрадиційної енергетики, з відповідним дотриманням правил їх безпечної експлуатації.

Порівняння енергетичного потенціалу розглянутих судових вітрових систем.

Енергетика повітряного потоку визначається на основі рівняння Бернуллі, що представляє закон збереження енергії, стосовно струменю повітря або рідини при їх сталому русі. Запас енергії вітру визначається між перетинами I і II струменю і складається з 4-х основних видів енергії [10]:

1. Кінетичної енергії E_k струменю (стовпця) повітря у вигляді роботи, проведеної масою m струменю, що рухається із швидкістю v_1 за час dt на шляху до перетину I , яка дорівнює:

$$E_k = \frac{mdt v_1^2}{2} \text{ (Дж) } . \quad (1)$$

2. Потенційної енергії E_p тиску струменю (стовпця) повітря, у вигляді роботи, проведеної частинками струменя за час dt , на шляху до перетину I , яка дорівнює:

$$E_p = p_1 F_1 v_1 dt \text{ (Дж) } , \quad (2)$$

де $p_1 F_1$ – тиск повітряного стовпця перетину (МПа·м²), $v_1 dt$ – шлях, на який пересувається цей стовпець в положення I (м)

3. Потенційної енергії E_g ваги струменю (стовпця) повітря, у вигляді роботи проведеної вагою mg струменю за час dt на шляху висотою Z_1 до рівня перетину I , яка дорівнює:

$$E_g = mgZ_1 dt \text{ (Дж) } , \quad (3)$$

де m – маса струменю (стовпця) повітря (кг), g – прискорення вільного падіння тіла на поверхню Землі, $g = 9,81 \left(\frac{m}{c} \right)$.

4. Внутрішньої (теплової) енергії E_d струменю (стовпця) повітря, у вигляді роботи, проведеної масою m струменю за час dt , залежно від її теплоти на шляху до перетину I , яка дорівнює:

$$E_d = \frac{U}{A} mgdt \text{ (Дж) } , \quad (4)$$



де A – механічний еквівалент тепла, $a = \frac{1}{427} \left(\frac{\text{кал}}{\text{дж}} \right)$.

Оскільки робочий діапазон швидкості вітру $v_1 \approx 10 \frac{M}{c}$, можна нехтувати стисливістю повітря. Пояснюється це співвідношенням швидкості вітру v_1 до швидкості звуку в повітрі $v_6 = 330 \frac{M}{c}$, яке в даному разі складає незначну величину:

$$\frac{v_1}{v_6} = \frac{10}{330} = 0,03.$$

При швидкості вітру $v_1 \approx 10 \frac{M}{c}$ передача теплової енергії рухомому об'єкту при початковому тиску потоку p_1 , в рамках залежності (5) [10], також незначна:

$$\frac{E_{d2}}{E_{d1}} = 1 - 3,45 \frac{p_1}{\rho} \left[1 - \left(\frac{p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2}}{p_1} \right)^{0,29} \right] = 0,98. \quad (5)$$

При швидкості вітру $v_1 \approx 10 \frac{M}{c}$ втрати на тертя повітря не перевищують 2 %.

Без урахування втрат на стискування, тертя і перетікання теплоти, а також малого гідростатичного тиску, нівелірних висот і втрат напору, оскільки для вітру – розглядаються течії, близькі до горизонтальних, тому рівняння Бернуллі можна спростити до рівняння (6):

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 = Const, \quad (6)$$

де $\frac{\rho v_1^2}{2}$, $\frac{\rho v_2^2}{2}$ – відповідно початковий і кінцевий швидкісний напір, $\left(\frac{H}{m^2} \right)$, p_1 , p_2 – відповідно початковий і кінцевий статичний тиск $\left(\frac{H}{m^2} \right)$.

У такому разі, перепад швидкісних напорів буде створювати тягу P , що розвиває струмінь, а загальний енергетичний потенціал E вітрил буде залежати від швидкості вітру v , щільності повітряного потоку ρ , площини вітрил S та к.к.д. системи η , в рамках рівняння (7).

$$E = \eta \frac{(\rho v_1^2 - \rho v_2^2)}{2} S. \quad (7)$$

Для суден (рис.1) із загальною вітрильністю 6200 м^2 , максимальний енергетичний потенціал при швидкості вітру від 5 до $10 \left(\frac{M}{c} \right)$ (при цій його швидкості виникає шторм у 5-6 балів, зони яких вітрильникам рекомендується обходити), складатиме від 8 до 32 тис. кВт, що достатньо для суден водотоннажністю від 8 до 16 тис. т. Однак така сила вітру може бути не кожний день плавання. Для системи «SkySails», з площиною вітрил від 320 до 640 м^2 , додатковий енергетичний потенціал еквівалентний 0,41-0,82 тис. кВт, що обмежує ефект економії палива у 10 – 15 %, тільки для суден водотоннажністю до 8 тис. т. Тому дані вітрові системи можуть бути рекомендовані, тільки як додаткові.

З огляду наведених прикладів використання судових вітрових електрогенераторів (рис. 13, 14) їх енергетичний потенціал є ще меншим, тому для визначення їх ефективного використання – необхідні подальші дослідження.

Загальні висновки по роботі. Проведений аналіз показав, що на судах впроваджуються, як додаткові, різні системи вітрової енергетики, поширення яких буде



зростати по мірі росту ціни на традиційне паливо. В цілому безпека їх експлуатації на суднах адекватна безпеці експлуатації подібних систем на суходолі, однак мають місце особливості, які пов'язані з розмірами суден та умовами їх експлуатації, у першу чергу – з їх кренуванням і розміщенням на їх палубі вантажів, що перевозяться судном, а також з габаритами і властивостями цих вантажів.

Найбільш доцільне використання вітрових електрогенераторів барабанного типу на суднах типу поромів з великою поверхнею даху, на якому вони можуть бути розміщені, що дозволяє економити до 20% палива.

Окремо слід виділити питання безпеки впровадження й експлуатації вітрових електричних систем будь якого типу на танкерах і газовозах, що потребує їх ретельної розробки спеціалістами, з урахуванням можливостей безпечного конструювання і видалення їх з судна у разі виникнення відповідних загроз.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Настасенко В. О. Нова концепція розвитку двигунів внутрішнього згорання / В. О. Настасенко. – Херсон: Видавництво ХДМІ, 2010. – 26 с.
2. Шурляк В. К. Применение альтернативных видов энергии и топлив на морских судах / В. К. Шурляк // Сжиженный природный газ как альтернативное топливо для морских судов. – С-Петербург : ГМА им. Макарова, 2012. – 47 с.
3. Кемпбел К. Грядущий нефтяной кризис / К. Кемпбел – М. : Группа независимых издателей, 1997. – 210 с.
4. Шкаликова В. П. Применение нетрадиционных топлив в дизелях / В. П. Шкаликова, Н. Н. Потрархальцев. –М. : Изд-во университета Дружбы народов, 1986. – 54 с.
5. Альтернативные источники сырья и топлива // Тезисы докладов II Международной научно-технической конференции «АИСТ-2009», (26-28 мая 2009 г.). – Минск, Беларусь – 476 с.
6. Агеев В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / В. А. Агеев. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 2004. – 343 с.
7. Верестюк И. Н. Паруса атомного века / И. Н. Верестюк // Катера и яхты. – 1983. – № 1. – С. 22-27.
8. Zeppelin SkySails, Sales and Service – Germany, Hamburg, 2007 – 32 p.
9. Трифонов А. В. Перспективы развития малых промысловых судов с парусным вооружением, соотношение традиции и тенденции / А. В. Трифонов. – Л. : НИЦ судостроения, 2004. – 8 с.
10. Фатеев Е. М. Ветродвиатели и ветроустановки / Е. М. Фатеев. – М. : ОГИЗ, 1948. – 544 с.

Настасенко В.А. СОВРЕМЕННАЯ СУДОВАЯ ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ОСОБЕННОСТИ ОХРАНЫ ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассмотрены основные разновидности ветровых энергетических установок, которые могут быть использованы на современных судах для уменьшения расходов топлива на базе нефти и газа. Показано, что ни одна из известных их разновидностей не позволяет полностью решить проблему замены традиционных видов топлива, однако они рекомендуются, как дополнительные источники энергии, что требует для них разработки правил безопасной эксплуатации, для которых в данной работе выделены основные исходные положения.

Ключевые слова: экономия топлива, ветровая энергетика, паруса, электрогенераторы

Nastasenko V.A MODERN SHIP WIND POWER AND PECULIARITIES OF LABOR PROTECTION AND SAFE EXPLOITATION

The main types of wind power plants which can be used on modern ships to reduce fuel consumption on the base of oil and gas are considered. It is shown, that none of the present varieties can completely solve the problem of replacement of traditional fuels, but they are recommended as additional sources of energy. So, they need to be provided with rules of safe exploitation outlined in this paper.

Keywords: fuel economy, wind energy, sails, electric power generator.



ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОЛЕСА З ПНЕВМАТИЧНОЮ ШИНОЮ НА ОПОРНІЙ ПОВЕРХНІ, ЩО ДЕФОРМУЄТЬСЯ

Балака М.М., Пелевін Л.Є., Аржаєв Г.О.

Київський національний університет будівництва і архітектури,

Василенко А.В.

Воронезький державний архітектурно-будівельний університет, Росія

Розглянуто випробувальний стенд для дослідження роботи колеса з пневматичною шиною при прямолінійному русі на опорній поверхні, що деформується. Представлено результати експериментальних досліджень у вигляді залежностей, які характеризують вплив виду та стану опорної поверхні, розмірів і робочих характеристик пневматичних шин, внутрішнього тиску повітря в шинах на тягово-зчіпні властивості пневмоколісного рушія землерийно-транспортних машин.

Ключові слова: колесо з пневматичною шиною, опорна поверхня, деформація, експериментальне дослідження, пневмоколісний рушій, випробувальний стенд, тягово-зчіпні властивості, землерийно-транспортна машина.

Вступ. У цей час значну частину земляних робіт при створенні об'єктів промислового, цивільного, сільськогосподарського, гідротехнічного і дорожнього будівництва, а також відкритого видобування деяких корисних копалин і меліорації земель виконують землерийні, землерийно-транспортні та навантажувальні машини. Серед них все більшого розповсюдження набувають самохідні пневмоколісні машини, що мають низку суттєвих переваг у порівнянні з гусеничними машинами відповідних видів, до основних з яких слід віднести: більш високі транспортні швидкості та мобільність, суттєве зниження матеріалоемності ходового обладнання та експлуатаційних витрат [1].

Застосування колісних землерийно-транспортних машин (ЗТМ) підвищеної одиничної потужності й вантажопідйомності під час виконання значних обсягів земляних робіт дає суттєву економію коштів та енергоносіїв за рахунок більш ефективного використання потужності рушійної установки, зниження показників питомої витрати енергоносія на одиницю об'єму розробленого ґрунту, збільшення продуктивності праці та скорочення термінів будівництва. Шини в цих машинах є важливими конструктивними елементами їх ходового обладнання і значною мірою визначають експлуатаційні та техніко-економічні показники [2]. Тому підвищення ефективності колісних ЗТМ нерозривно пов'язане з дослідженням роботи пневмоколісного рушія і поліпшенням його робочих характеристик.

Актуальність досліджень. Для робочого циклу колісних ЗТМ характерними є два режими руху – тяговий і транспортний. Причому, тривалість тягового режиму роботи машини займає значну частину від загальної тривалості технологічного циклу. Так для скреперів і одноківшевих навантажувачів ця частка складає 10...20 %, для бульдозерів – 20...25 %, для автогрейдерів – 75...80 % [1, 3]. Враховуючи особливості роботи колісних ЗТМ, найбільший інтерес представляє прямолінійний рух машини, при якому реалізуються максимальні значення сили тяги, тягової потужності та інших тягово-зчіпних властивостей пневмоколісного рушія, зокрема, колеса з великогабаритною пневматичною шиною (ВГШ) [3, 4]. При цьому, зусилля на робочому органі, що долає опір ґрунту копанню, створюється за рахунок сили тяги, яка розвивається пневмоколісним рушієм. З погляду на реалізацію сили тяги, транспортний режим машини можна розглядати як окремий випадок більш загального – тягового режиму [3], при якому пневмоколісний рушій працює на ведучому режимі його силового навантаження.

У процесі експлуатації колесо з пневматичною шиною піддається силовому впливу від базової машини та опорної поверхні руху. Механічні властивості пневматичної шини чинять істотний вплив на здатність колеса сприймати і перетворювати зовнішні



навантаження в силу тяги. Пневмоколісний рушій при коченні по опорній поверхні сприймає зовнішні навантаження, що спричиняють до появи складних деформацій в пневматичній шині, зокрема, в її каркасі та брекері [4]. В свою чергу, оболонка пневматичної шини навантажена надлишковим внутрішнім тиском повітря, а деформації, що відбуваються в області контакту, викликають зміну внутрішнього тиску, частково перерозподіляючи їх дію на іншу частину оболонки. Розв'язання задачі визначення механічних властивостей пневматичної шини за її окремими параметрами, до яких можна віднести: конструктивні особливості, геометричні розміри, внутрішній тиск повітря тощо, навіть із застосуванням сучасних методів чисельного аналізу представляють досить значні труднощі [5], тому експериментальні дослідження роботи колеса з пневматичною шиною зберігають свою актуальність.

Постановка задачі. Провести випробування колеса з пневматичною шиною на опорній поверхні, що деформується, з метою отримання експериментальних залежностей, які характеризують вплив виду та стану опорної поверхні, розмірів і робочих характеристик ВГШ, внутрішнього тиску повітря в шинах на тягово-зчіпні властивості пневмоколісного рушія при прямолінійному русі.

Виклад основного матеріалу. Експериментальні дослідження роботи окремого колеса з ВГШ можливі за наявності випробувального стенда, який дозволяє моделювати робочі процеси, характерні при роботі колеса на ЗТМ. Стендові випробування дозволяють зменшити похибку вимірювань порівняно з випробуваннями на машині за рахунок виключення впливу на досліджуваний процес конструктивної схеми ходового обладнання машини, особливо багатовісної [6]. Цей метод не тільки забезпечує отримання результатів з високим рівнем їх достовірності та відтворюваності, але й дозволяє значно скоротити витрати, у порівнянні з методом натурних випробувань.

Як стверджує д.т.н., професор Л. А. Хмара, створення в Україні власного центру випробувань і сертифікації продукції будівельно-дорожнього машинобудування, оснащеного, зокрема, універсальним стендом для дослідження ВГШ [7] і мехатронним комплексом для тягових випробувань ЗТМ [8], є дуже актуальною задачею, але потребує в цей час значних капітальних витрат і часу [9]. Разом з тим, протягом більше 30 років, на навчально-дослідницькому полігоні будівельно-дорожніх машин Воронежського державного архітектурно-будівельного університету (Росія, м. Воронеж) під керівництвом д.т.н., професорів М. О. Ульянова і П. І. Нікуліна та їх учнів було створено унікальну в СНД експериментальну базу [7, 10] для випробувань ВГШ розробки Державного НДІ великогабаритних шин (Україна, м. Дніпропетровськ).

У зв'язку з чим, експериментальні дослідження проводились авторами на самохідному стенді для дослідження роботи окремого колеса з ВГШ при прямолінійному русі за програмою Міждержавної співпраці в галузі виробництва, випробувань і експлуатації пневматичних шин для позашляхових транспортно-технологічних засобів різного призначення в країнах СНД у липні – серпні 2011 року в умовах Полігону будівельно-дорожніх машин Воронежського державного архітектурно-будівельного університету.

Стенд вибрано з умов можливості проведення експериментальних досліджень процесу взаємодії окремого колеса з пневматичними шинами діаметром від 1,45 до 2,8 м, шириною профілю до 1,3 м і вантажопідйомністю до 250 кН, за різних режимів його силового навантаження при прямолінійному русі на різних видах опорних поверхонь, в умовах, максимально наближених до реальних [10].

В якості об'єктів досліджень було прийнято серійні пневматичні шини розміром 27.00-33 моделі В-71 і 37.5-39 моделі Ф-7 за ГОСТ 8430-2003 і ГОСТ 26585-2003, що є характерними представниками ВГШ для будівельно-дорожньої, підйомно-транспортної та рудничної техніки з максимальною швидкістю руху до 50 км/год і які застосовуються на колісних ЗТМ підвищеної одиничної потужності й вантажопідйомності, зокрема, на самохідних скреперах ДЗ-13Б, ДЗ-115А і ДЗ-107А типорозмірів СС-15 і СС-25 відповідно.



Стенд (рис. 1) представляє собою систему з двох агрегатів: привідного агрегату, що забезпечує навантаження і привід колеса при випробуваннях, та гальмівного агрегату. В якості гальмівного агрегату застосовувався гусеничний трактор Т-100МГБ від роторного екскаватора ЭР-7А, обладнаного розширеним гусеничним ходом і ходозменшувачем, що забезпечує при русі «вперед» 12 ступенів швидкостей в діапазоні від 0,086 до 0,86 м/с [10].

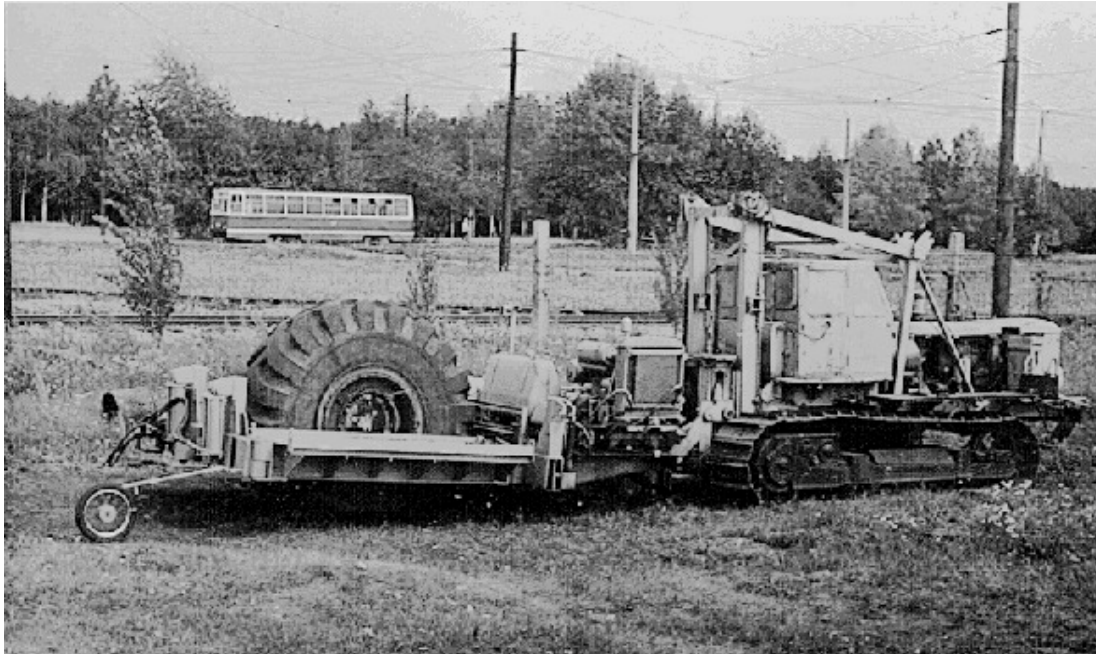


Рисунок 1 – Загальний вигляд стенда при випробуваннях колеса з пневматичною шиною розміром 37.5-39 моделі Ф-7

Перед початком проведення експериментальних досліджень виконувалася підготовка стенда, вимірювально-реєструвальної апаратури й опорної поверхні.

Підготовка стенда містила наступні операції: монтаж випробуваної ВГШ і встановлення її на стенд; завантаження стенда баластом для отримання відповідного вертикального навантаження на колесо з подальшим визначенням його величини за допомогою взірцевих динамометрів системи Токарева; монтаж вимірювально-реєструвальної апаратури; змащення і регулювання окремих вузлів; встановлення відповідного тиску повітря в шині.

Підготовка вимірювальних перетворювачів полягала у збиранні, регулюванні під відповідний розмір ВГШ та їх таруванні. Для забезпечення надійності та достовірності вимірювань, калібрування вимірювальних перетворювачів виконувалася двічі: до та після проведення випробувань.

Дослідження роботи окремого колеса з ВГШ проводилися на щільному свіжозрізаному і розпушеному ґрунтах типу суглинки. Для створення умов, наближених до тих, в яких працюють колісні ЗТМ, виконувалась відповідна підготовка ґрунтової опорної поверхні. Щільний свіжозрізаний ґрунт отримувался шляхом пошарового зрізання ґрунту та наступним плануванням перед проведенням дослідів на випробувальному майданчику довжиною біля 100 м і шириною до 5 м. Насипний розпушений ґрунт відсипався на ущільнену основу шаром товщиною 50 см, що відповідає шарам, які відсипаються потужними ЗТМ на будівництві. Після того, як шар відсипного ґрунту досягав потрібної товщини, його поверхня остаточно планувалася вручну. Після кожного дослідів виконувалось розпушення і розрівнювання поверхні, що дозволило проводити дослідів практично в ідентичних умовах. Геометричні параметри поздовжнього і поперечного профілю майданчика витримувалися у відповідності до вимог



ГОСТ 27247-87 (ИСО 7464-83), а фактичний профіль майданчика в процесі випробувань контролювався нівеліром.

Для дослідження необхідної кількості процесів, що одночасно відбуваються при роботі окремого колеса з ВГШ (без урахування енергетичних витрат силової установки), використовувалися датчики, встановлені на стенді [10, 11], за допомогою яких вимірювалися наступні параметри: крутний момент, що підводиться до пневмоколісного рушія – M_K ; сила тяги – T ; радіальна – Δ_r і тангенційна – Δ_T деформації шини; нормальні напруження в області контакту шини з опорною поверхнею (по виступу – σ_B і лобовій поверхні – σ_L ґрунтозачіпу протектора шини); швидкість проковзування елемента протектора шини – $\Delta V_{ПЗ}$; частота обертання колеса – n_K і мірного колеса – $n_{МК}$; час дослідів – t . Зібраний масив експериментальних даних було оброблено за допомогою комп'ютерних програм MathCAD і Excel.

Оскільки пневматична шина представляє собою оболонку з достатньо тонкими стінками, то її механічні властивості та здатність деформуватися під дією зовнішніх навантажень істотним чином залежать від величини внутрішнього тиску повітря, що представлено на рис. 2а. Аналіз залежності показав, що збільшення внутрішнього тиску повітря в шині спричинює непропорційне зниження величини радіальної деформації.

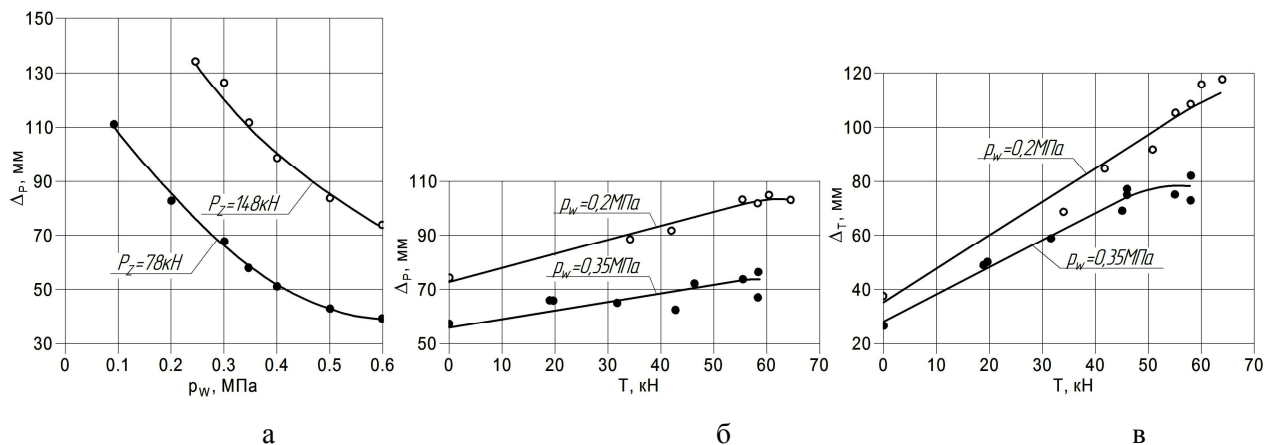


Рисунок 2 – Залежності радіальної деформації Δ_r (а) шини від внутрішнього тиску повітря p_w при різних P_z , радіальної Δ_r (б) і тангенційної Δ_T (в) деформацій шини від сили тяги T при різних p_w , при коченні колеса з шиною розміром 27.00-33 моделі В-71 по щільному суглинку

Величина і характер навантажень колеса чинять істотний вплив на деформаційний стан пневматичної шини [2, 3]. Для оцінки їх впливу у вигляді вертикального (нормального) навантаження – P_z і сили тяги – T на деформаційні характеристики шини використовувалися результати, що отримано під час проведення випробувань пневмоколісного рушія на тяговому режимі його силового навантаження при прямолінійному русі на щільному свіжозрізаному суглинку, і які показано на рис. 2.

Аналіз отриманих залежностей показав, що при збільшенні сили тяги значення обох складових деформацій збільшуються практично лінійно, але до певної межі, обмеженої змінами пружних властивостей шини і умовами прогресивного збільшення глибини колії при значному буксуванні колеса. Слід зазначити, що збільшення тангенційної деформації (див. рис. 2, в) проходить інтенсивніше за зростання радіальної деформації шини (див. рис. 2, б).

Сукупність зовнішніх силових факторів, що діють на пневмоколісний рушій в процесі його руху, врівноважується дією нормальних і дотичних напружень, що виникають при цьому в області контакту колеса з опорною поверхнею. Причому дотичні напруження контактуючих тіл і реалізуються у вигляді сил тертя і зсуву при заглибленні ґрунтозачепів в опорну поверхню, що деформується [3]. Розміри і форма поверхні контакту безпосередньо пов'язані з величиною і характером розподілу контактних



напружень, які, в свою чергу, пов'язані з відношенням механічних властивостей контактуючих тіл, спрямованістю і величиною зовнішніх навантажень [5].

Визначення контактних напружень шини розміром 37.5-39 моделі Ф-7 при внутрішньому тиску повітря $p_w = 0,2$ МПа здійснювалося при коченні колеса по розпушеному вологому суглинку ($w = 26\%$) на вільному режимі його силового навантаження. На рис. 3 наведено епюри нормальних контактних напружень σ_B по довжині і ширині контакту шини в центральних поздовжній (координата x) і поперечній (координата y) площинах колеса.

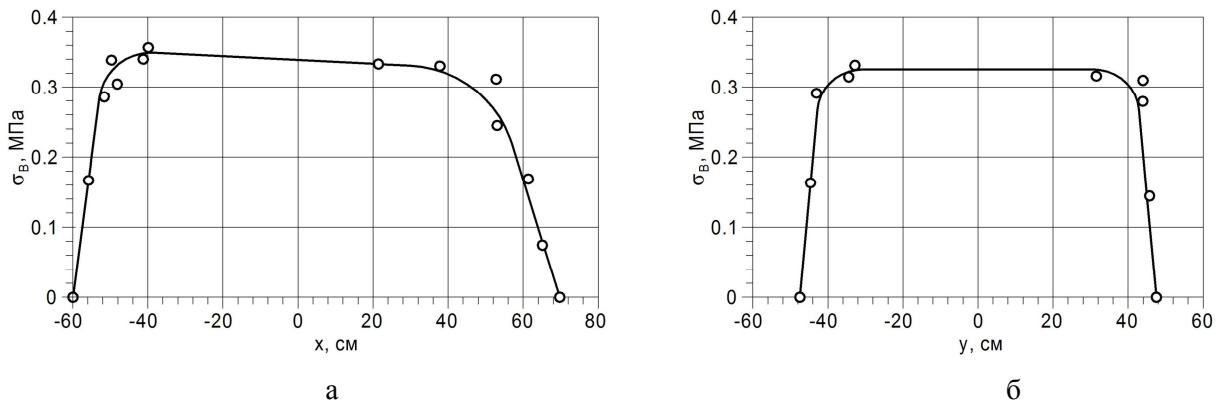


Рисунок 3 – Епюри нормальних контактних напружень σ_B по довжині (а) і ширині (б) контакту шини розміром 37.5-39 моделі Ф-7, при коченні колеса по розпушеному суглинку при $p_w = 0,2$ МПа

Характер епюр нормальних контактних напружень в області контакту шини розміром 37.5-39 моделі Ф-7 з опорною поверхнею, що деформується, повністю відповідає експериментальним даним, що отримано в [3], наприклад, для шини розміром 21.00-33 моделі ВФ-166А.

Опір коченню, поряд із тяговим к.к.д., є одним з показників, що дозволяє оцінити ефективність роботи пневмоколісного рушія. Величина опору коченню пневмоколісного рушія, що прийнято оцінювати моментом опору коченню M_f або безрозмірним коефіцієнтом опору коченню f , залежить від багатьох параметрів пневматичної шини, механічних властивостей опорної поверхні і режиму навантаження колеса під час його руху [3, 6].

Численними дослідженнями встановлено, що навантаження колеса поздовжньою силою призводить до зростання опору коченню. Цю залежність наочно представлено на рис. 4а при коченні колеса з шиною 37.5-39 моделі Ф-7 по розпушеному вологому суглинку ($w = 26\%$) при внутрішньому тиску повітря в шині $p_w = 0,3$ МПа і вертикальному навантаженні $P_z = 92$ кН.

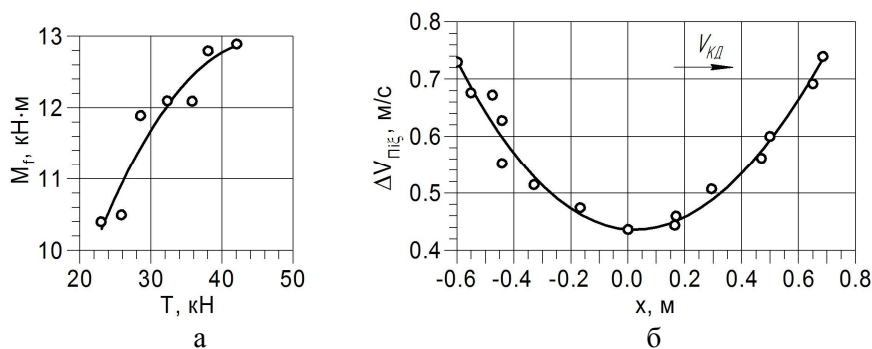


Рисунок 4 – Залежності моменту опору коченню M_f від сили тяги T (а) і швидкості проковзування елемента протектора $\Delta V_{\pi z}$ від поздовжньої координати контакту x (б), при коченні колеса з шиною розміром 37.5-39 моделі Ф-7 по розпушеному суглинку



Основні причини цього явища полягають в наступному: під дією сили тяги зростає тангенційна деформація шини, що призводить до збільшення зміщення рівнодіючої нормальних елементарних сил в контактї від вертикалі, яка проходить через вісь колеса і, крім того, збільшуються складові сил тертя в контактї. При цьому, зсув ґрунту в контактї відбувається інтенсивніше і при значному буксуванні це призводить до прогресивного збільшення глибини колїї.

Аналіз залежності, представленої на рис. 4б, показав, що збільшення швидкості проковзування елементів протектора шини відносно опорної поверхні, що деформується, суттєво вплине на тягово-зчїпні властивості рушія, а також призведе до значного збільшення абсолютної величини шляху проковзування шини відносно опорної поверхні та до більш інтенсивного зношення протектора шини і зниження терміну її служби.

Найбільш повне уявлення про тягово-зчїпні властивості пневмоколїсного рушія дає тягова характеристика. Стосовно тягових випробувань з використанням спеціальних стендів мова йде про окреме колесо з пневматичною шиною, що дозволяє за допомогою тягової характеристики проаналізувати потенційні тягово-зчїпні можливості пневмоколїсного рушія незалежно від особливостей ходового обладнання базової машини [6].

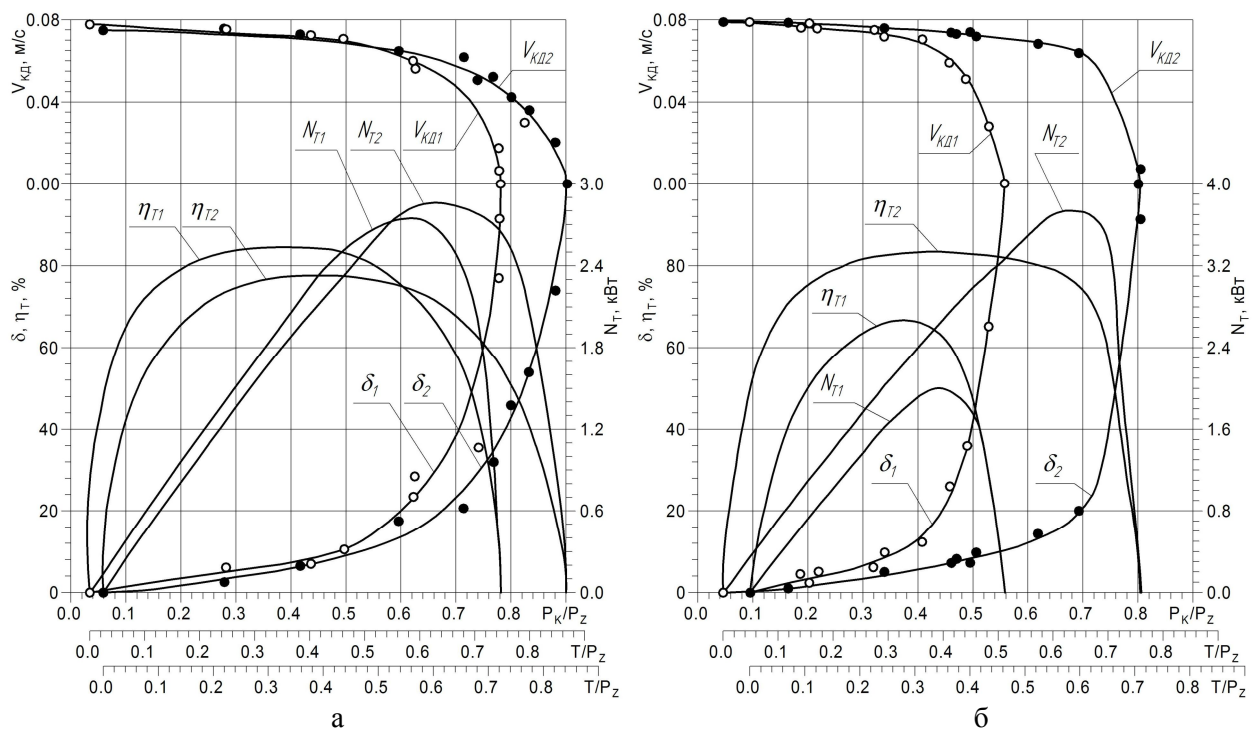


Рисунок 5 – Тягові характеристики колеса з пневматичною шиною розміром:
 а – 27.00-33 моделі В-71 на щільному суглинку при $p_w = 0,35$ МПа (1) і $p_w = 0,2$ МПа (2);
 б – 37.5-39 моделі Ф-7 на розпушеному (1) і щільному (2) суглинку при $p_w = 0,2$ МПа

На рис. 5а представлено експериментальну тягову характеристику колеса з пневматичною шиною розміром 27.00-33 моделі В-71 на щільному суглинку при вертикальному навантаженні $P_z = 78$ кН і різних значеннях внутрішнього тиску повітря p_w . Аналіз тягової характеристики показує, що зниження внутрішнього тиску повітря в шині p_w від 0,35 до 0,2 МПа призводить до збільшення коефіцієнта зчеплення φ на 12 %, максимального значення тягової потужності N_{Tmax} на 4 % і супроводжується загальним зниженням інтенсивності проковзування пневмоколїсного рушія. Водночас знижується максимальна величина тягового к.к.д. η_T на 9 %, що спричинено зростанням опору коченню.

Для наочної демонстрації впливу виду опорної поверхні на тягово-зчїпні властивості пневмоколїсного рушія, на рис. 5б представлено експериментальну тягову



характеристику колеса з пневматичною шиною розміром 37.5-39 моделі Ф-7 на щільному і розпушеному суглинку при вертикальному навантаженні $P_z = 92$ кН. Зниження міцності та зв'язності ґрунтової поверхні значно погіршило характер і основні показники тягової характеристики. При цьому, зменшились величина коефіцієнта зчеплення φ на 40 %, максимальне значення тягового к.к.д. η_T на 20 %, а максимальне значення тягової потужності $N_{T_{\max}}$ на 45 %.

Висновки. На самохідному стенді [10] за допомогою вимірювально-реєструвальної апаратури [11] проведено випробування окремого колеса з пневматичною шиною за різних режимів його силового навантаження при прямолінійному русі на різних видах опорних поверхонь, в умовах, максимально наближених до реальних. Представлені результати експериментальних досліджень показали, що до числа факторів, які суттєво впливають на тягово-зчіпні властивості колеса з ВГШ, слід віднести величину внутрішнього тиску повітря в шині, а також вид і стан опорної поверхні руху колеса.

Використання отриманих результатів, в подальшому, при визначенні зношення протектора шини і строку її служби, дозволить обґрунтувати і розрахувати потреби у матеріально-технічних засобах на експлуатацію ЗТМ підвищеної одиничної потужності й вантажопідйомності, зокрема, самохідних скреперів типорозмірів СС-15 і СС-25, обладнаних пневматичними шинами розміром відповідно 27.00-33 і 37.5-39.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дорожно-строительные машины : учебник / [Вавилов А. В., Леонович И. И., Максименко А. Н. и др.]. – Минск : Технопринт, 2000. – 515 с.
2. Балака М. М. Тенденції розвитку колісних землерийно-транспортних машин / М. М. Балака // Наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів, 6–8 листоп. 2012 р. : Тези доп. – К. : КНУБА, 2012. – Ч. 1. – С. 83-84.
3. Ульянов Н. А. Колесные движители строительных и дорожных машин : теория и расчет / Н. А. Ульянов. – М. : Машиностроение, 1982. – 279 с.
4. Скорняков Е. С. Крупногабаритні шини автомобілів та тракторів : монографія / Е. С. Скорняков. – Дніпропетровськ : Пороги, 2000. – 264 с.
5. Бухин Б. Л. Введение в механику пневматических шин / Б. Л. Бухин. – М. : Химия, 1988. – 224 с.
6. Петрушов В. А. Сопротивление качению автомобилей и автопоездов / В. А. Петрушов, С. А. Шукшин, В. В. Московкин. – М. : Машиностроение, 1975. – 225 с.
7. Пелевін Л. Є. Аналіз технічних рішень випробувальних стендів для дослідження роботи колеса з пневматичною шиною / Л. Є. Пелевін, Г. О. Аржаєв, М. М. Балака // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2007. – Вип. 69. – С. 64-70.
8. Балака М. М. Застосування принципів мехатроніки при тягових випробуваннях позашляхових технологічних засобів / М. М. Балака, Л. Є. Пелевін, Г. О. Аржаєв // Вестник Харьк. нац. автомобильно-дорожного ун-та. – 2012. – Вип. 57. – С. 55-58.
9. Хмара Л. А. Анализ тенденций и перспектив развития в Украине подъемно-транспортных, дорожно-строительных и землеройных машин / Л. А. Хмара // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – 2008. – Вип. 46. – С. 5-8.
10. Стенды для испытания крупногабаритных пневматических шин / Н. А. Ульянов, П. И. Никулин, Н. П. Куприн, А. В. Василенко // Строительные и дорожные машины. – 1982. – № 6. – С. 21-22.
11. Пелевін Л. Є. Інформаційно-вимірювальне забезпечення стендових випробувань окремого колеса з пневматичною шиною / Л. Є. Пелевін, Г. О. Аржаєв, М. М. Балака // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2007. – Вип. 70. – С. 65-71.



Балака М.Н., Пелевин Л.Е., Аржаев Г.А., Василенко А.В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КОЛЕСА С ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНОЙ НА ДЕФОРМИРУЮЩЕЙСЯ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрен испытательный стенд для исследования работы колеса с пневматической шиной при прямолинейном движении на деформирующейся опорной поверхности. Представлены результаты экспериментальных исследований в виде зависимостей, характеризующих влияние вида и состояния опорной поверхности, размеров и рабочих характеристик пневматических шин, внутреннего давления воздуха в шинах на тягово-сцепные свойства пневмоколёсного движителя землеройно-транспортных машин.

Ключевые слова: колесо с пневматической шиной, опорная поверхность, деформация, экспериментальное исследование, пневмоколёсный движитель, испытательный стенд, тягово-сцепные свойства, землеройно-транспортная машина.

Balaka M.N., Pelevin L.E., Arzhaev G.A., Vasilenko A.V. EXPERIMENTAL OPERATIONAL STUDIES OF THE WHEEL WITH A PNEUMATIC TYRE ON THE DEFORMATION BEARING SURFACE

The test bench for the operational study of the wheel with a pneumatic tyre while rectilinear motion on the deformation bearing surface is considered. The results of experimental studies are presented as a dependence that characterizes the influence of the type and condition of the bearing surface, sizes and performance characteristics of the pneumatic tyre, internal air pressure in the tyres on the traction-clutch qualities of the earth-moving machines pneumatic mover.

Keywords: wheel with a pneumatic tyre, bearing surface, deformation, experimental study, pneumatic mover, test bench, traction-clutch qualities, earth-moving machine.



УДК 621.318

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Барбашова М.В.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

В статье представлен анализ способов бесконтактного измерения удельной электропроводности тонкостенных листовых металлов при магнитно-импульсной обработке металлов (МИОМ). Раскрыты основы методов, основанных на компенсации электромагнитных полей двух соленоидов во внутренней полости системы с двумя листовыми металлическими образцами. Показаны различные конструктивные исполнения источников поля (в частности, их обмоток). Приведены аналитические соотношения для расчета основных электромагнитных характеристик рассматриваемых систем.

Ключевые слова: удельная электропроводность, листовый металл, магнитно-импульсная обработка.

Введение. В современной промышленности применяются различные металлы и их сплавы, это обусловлено как экономическими показателями, так и техническими (прочность, доступность в обработке и обслуживании, массогабаритные показатели и др.) показателями. В связи с этим, остро встает вопрос о точных электрофизических параметрах (например, удельная электропроводность, магнитные характеристики и др.) обрабатываемого металлического элемента конструкции авто. От этого зависит выбор, как способа, так и метода самой обработки и, соответственно, качество, и эффективность обработки (ремонта, рихтовки, восстановления).

Актуальность исследований. Недостатком традиционных способов измерения удельного электрического сопротивления (удельной электропроводности проводников) является наличие электрических контактов в процессе самого измерения. Это вносит значительную погрешность в процесс измерения, т.к. сами контакты (места подсоединения) обладают своим значением активного сопротивления – переходное сопротивление [1, 2].

Данного недостатка лишены бесконтактные способы измерения удельной электропроводности проводников. Следует отметить, что в настоящее время появились предложения бесконтактных измерителей электропроводности, принцип действия которых основан на возбуждении вихревых токов (например, прибор SIGMASCOPE® SMP10 компании ХЕЛЬМУТ ФИШЕР, вихретоковый структуроскоп ВЭ-26НП разработанный в ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», и др.). К недостаткам устройств такого типа, в первую очередь, можно отнести ограниченность их возможностей. Так, во-первых, исключаются измерения для металлов с толщиной, меньшей величины эффективной глубины проникновения поля, во-вторых, предложения не работают для металлов, обладающих магнитными свойствами и т.д.

Указанные недостатки становятся особо значимыми и неприемлемыми при магнитно-импульсной обработке тонкостенных металлов, поскольку не позволяют идентифицировать важнейшую характеристику обрабатываемого объекта – удельную электропроводность, определяющую не просто эффективность, а практические возможности технологий с использованием энергии электромагнитных полей.

Отмеченных выше недостатков лишены бесконтактные системы измерения удельной электропроводности проводников, основанные на идее о взаимодействии «встречных» магнитных полей двух соленоидов [3].

Постановка задачи. Сущность предлагаемых способов состоит в суперпозиции магнитных потоков двух независимых источников, и соответственно, заключается в следующем.

На два листовых образца с внешних сторон действуют «встречные» магнитные поля. Термин «встречные» означает включение источников магнитного поля, при котором



вектора напряженности направлены противоположно, а их амплитуды таковы, что в пространстве между образцами магнитный поток обращается в нуль [4, 5].

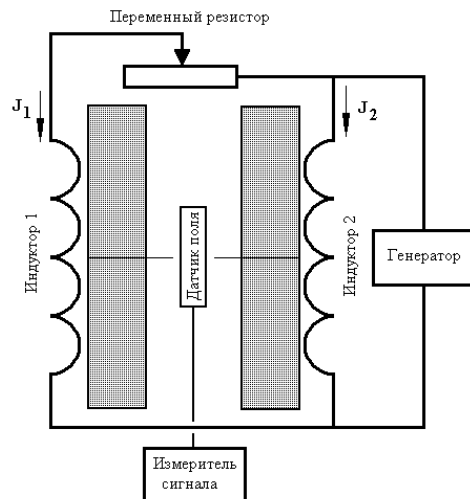


Рисунок 1 – Схема измерения удельной электропроводности плоских листовых металлов

Как видно из схемы на рисунке 1, источниками «встречных» полей являются два плоских соленоида (индуктор 1 и индуктор 2), расположенные на внешних поверхностях двух немагнитных металлических образцов. Один из них является «контрольным». Все его параметры известны. Пусть это будет металлический лист с толщиной и удельной электропроводностью – d_1 и γ_1 , соответственно. Для второго образца известна только его толщина – d_2 . Удельная электропроводность подлежит определению, $\gamma_2 = ?$.

Практическая реализация настоящего предложения по измерению удельной электропроводности требует решения следующих основных вопросов:

- выбор конструктивного исполнения источников магнитного поля (индукторов) для возбуждения плоских магнитных полей, обеспечивающих максимум приближения к идеализации плоских электромагнитных волн,
- получение рабочих соотношений для определения неизвестной электропроводности, учитывающих взаимное влияние проводящих конструктивных элементов в реальной измерительной системе,
- возможность определения удельной электропроводности ферромагнитных листовых металлов, условия и рабочие соотношения.

Цель работы – провести сравнительную характеристику способов бесконтактного измерения удельной электропроводности листовых металлических образцов при магнитно-импульсной обработке металлов.

Результаты исследований. В данной работе приведен анализ трех конструктивных решений поставленной задачи:

1. Способ измерения удельной электропроводности немагнитного металла, когда «встречные» поля возбуждаются массивными соленоидами-индукторами, обмотки которых выполнены из «идеальных» проводников.

Постановка задачи предполагает принятие расчётной модели на рисунке 2б, соответствующей схеме на рисунке 2а.

Допущения сформулированы в пп. 1÷8.

1. Приемлема декартова прямоугольная система координат, единичные орты которой представлены в верхней части рисунка 2б.

2. В измерениях ОХ и ОУ рассматриваемая система обладает настолько большой протяжённостью, что $\frac{d}{dx} = \frac{d}{dy} \approx 0$.



3. Индукторы-соленоиды 1 и 2 идентичны геометрически и относительно листовых металлов расположены на одинаковом достаточно малом расстоянии – h от них, так что $\frac{h}{a} \ll 1$, где a – какой-то характерный размер системы.

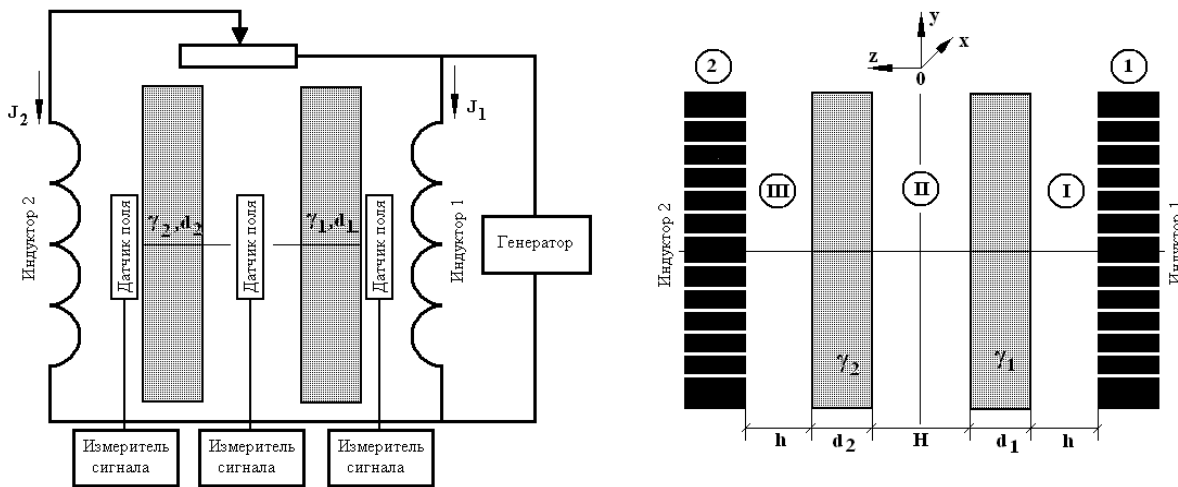


Рисунок 2 – Система для измерения удельной электропроводности плоских листовых металлов: а) схема практической реализации; б) расчётная модель

4. Расстояния между витками соленоидов пренебрежимо малы, а металл витков обладает идеальной проводимостью.

5. Плотность токов в соленоидах – $j_1(t)$ и $j_2(t)$. Их временные параметры таковы, что в расчётах приемлемо известно условие квазистационарности происходящих электромагнитных процессов и $\frac{\omega}{c} \cdot a \ll 1$ (здесь ω – циклическая частота, c – скорость света в вакууме).

6. Немагнитные металлические листы являются достаточно тонкостенными с геометрической – $\frac{d_{1,2}}{a} \ll 1$ и электродинамической – $\omega \cdot \tau_{1,2} \ll 1$ точек зрения ($\tau_{1,2}$ – характерные времена проникновения поля в проводящие слои: $\tau_1 = \mu_0 \cdot \gamma_1 \cdot d_1^2$, $\tau_2 = \mu_0 \cdot \gamma_2 \cdot d_2^2$, μ_0 – магнитная проницаемость вакуума).

7. Расстояние между листами – H достаточно мало $\left(\frac{H}{a} \ll 1\right)$ и магнитное поле между ними однородно.

8. Система возбуждается только x – компонентами токов индуктора, вследствие чего нетривиальными составляющими вектора электромагнитного поля являются $E_x \neq 0, H_y \neq 0$.

Для металлов уравнения Максвелла в пространстве L – изображений с учётом нулевых начальных условий, имеют вид [6]:

$$\begin{cases} \frac{\partial H_y(p, z)}{\partial z} = \gamma \cdot E_x(p, z); & (1) \\ \frac{\partial E_x(p, z)}{\partial z} = \mu_0 \cdot p \cdot H_y(p, z); & (2) \end{cases}$$



где p – параметр преобразования Лапласа.

$$E_x(p, z) = L\{E_x(t, z)\}; H_y(p, z) = L\{H_y(t, z)\}.$$

Опуская подробное описание решения уравнений Максвелла для данной системы, в результате было получено:

- если токи в обмотках соленоидов равны и одинаково направлены (одинаковая направленность токов соответствует противоположной направленности магнитных потоков в пространстве между ними), поле во внутренней полости системы обращается в нуль;
- неизвестная удельная электропроводность металлического листа толщиной d_2 может быть найдена из выражения (3):

$$\gamma_2 \approx \frac{\gamma_1 \cdot d_1}{d_2} \cdot \frac{H_{2m}}{H_{1m}}, \quad (3)$$

где H_{1m} – амплитудное значения напряжённости магнитного поля на граничной поверхности металлического листа (d_1, γ_1) со стороны индуктора 1; H_{2m} – амплитудное значения напряжённости магнитного поля на граничной поверхности металлического листа (d_2, γ_2) со стороны индуктора 2.

2. Способ бесконтактного измерения удельной электропроводности листового ферромагнетика в системе с индукторами, обмотки которых «абсолютно прозрачны» для возбуждаемых магнитных полей. Обмотки индукторов не влияют на характер протекающих электромагнитных процессов.

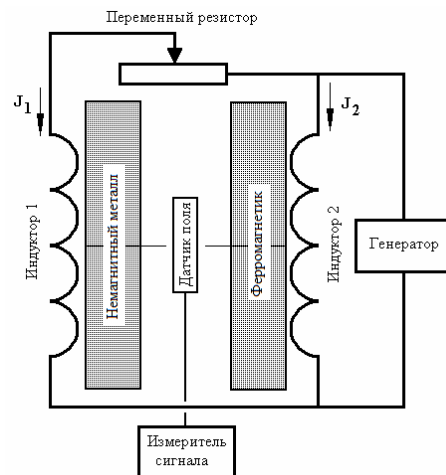


Рисунок 3 – Принципиальная схема измерения электропроводности листовых ферромагнетиков в системе с «абсолютно прозрачными» обмотками индукторов

Измерительный комплекс состоит (рис. 3) из параллельно размещённых плоского индуктора – 1, первого немагнитного листового металла (со стороны индуктора – 1), второго листового магнитного металла (со стороны индуктора – 2) и плоского индуктора – 2.

Все составляющие комплекса разделены диэлектрическими промежутками.

Индукторы – 1 и 2 подключаются к отдельным источникам питания.

Варьируя параметры сигналов в обмотках индукторов, можно добиться нулевого поля в пространстве между листами (индикация производится, например, с помощью катушечного индукционного измерителя в центральной полости между листами).

Немагнитный металл является контрольным. Его электропроводность – γ_1 , магнитная проницаемость – $\mu_1 \approx \mu_0$ (μ_0 – магнитная проницаемость вакуума) и толщина –



d_1 известны. Второй листовый металл обладает известной толщиной – d_2 , но неизвестными электропроводностью – γ_2 и магнитной проницаемостью – μ_2 .

При решении поставленной задачи принимаем следующие допущения.

1. Одинаковые индукторы-соленоиды 1 и 2 расположены идентично относительно листовых металлов на одинаковом и достаточно малом расстоянии – h от них, так что $\frac{h}{a} \ll 1$, где a – ширина обмоток соленоидов.

2. Витки соленоидов достаточно тонки и «абсолютно прозрачны» для действующих полей, так что их металл не оказывает никакого влияния на протекающие электромагнитные процессы и можно считать, что $D \rightarrow 0$.

3. Изоляционные промежутки между витками – b достаточно малы, так что $\frac{b}{a} \ll 1$.

4. В каждом из соленоидов параллельные ветви обмоток удалены друг от друга настолько, что их взаимным влиянием можно пренебречь.

5. В измерении ОХ соленоиды достаточно протяжённые, так что $\frac{d}{dx} \approx 0$.

6. Размеры металлических листов в измерениях ОХ и ОУ достаточно велики, а расстояние – $(2d)$ между ними достаточно мало, так что $\frac{(2d)}{a} \ll 1$.

7. В соответствии с положениями 1÷6 для проведения расчётов приемлема модель на рисунке 4.

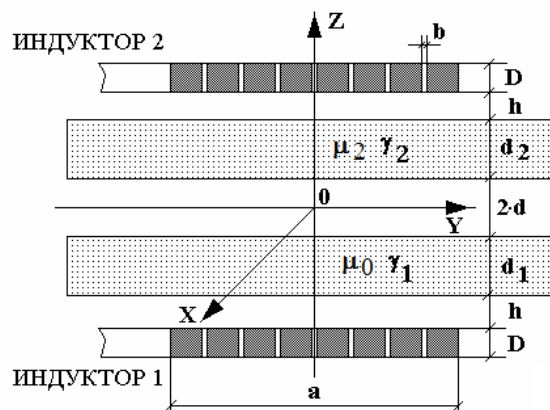


Рисунок 4 – Расчётная модель способа измерения удельной электропроводности листовых ферромагнетиков

8. В соленоидах текут токи с плотностью $j_1(t)$ и $j_2(t)$, временные параметры которых таковы, что в расчётах приемлемо известное условие квазистационарности электромагнитных процессов и $\frac{\omega}{c} \cdot a \ll 1$ (здесь ω – циклическая частота, c – скорость света в вакууме).

9. Листы обоих металлов являются достаточно тонкостенными с геометрической – $\frac{d_{1,2}}{a} \ll 1$ и электродинамической – $\omega \cdot \tau_{1,2} \ll 1$ точек зрения (в последнем неравенстве $\tau_{1,2}$ – характерные времена проникновения поля: $\tau_1 = \mu_0 \cdot \gamma_1 \cdot d_1^2$,



$\tau_2 = \mu_2 \cdot \gamma_2 \cdot d_2^2$, $\gamma_{1,2}$ – удельные электропроводности, $d_{1,2}$ – толщины листовых металлов, $\mu_{0,2}$ – абсолютные магнитные проницаемости, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м).

10. Полагаем, что магнитная проницаемость исследуемого листового металла – $\mu_2 \approx \text{const}$.

11. Размеры листов в измерениях ОХ и ОУ достаточно велики, расстояние между ними – $2d$ достаточно мало $\left(\frac{2d}{a} \ll 1\right)$, магнитное поле между ними однородно.

12. Система возбуждается x – составляющей тока индуктора, вследствие чего нетривиальными составляющими вектора электромагнитного поля являются $E_x \neq 0, H_{y,z} \neq 0$.

Уравнения Максвелла в пространстве L – изображений с учётом нулевых начальных условий, имеют вид [6]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial H_z(p, y, z)}{\partial y} - \frac{\partial H_y(p, y, z)}{\partial z} = j_x(p, y, z); \\ \frac{\partial E_x(p, y, z)}{\partial z} = -\mu \cdot p \cdot H_y(p, y, z); \\ \frac{\partial E_x(p, y, z)}{\partial y} = \mu \cdot p \cdot H_z(p, y, z); \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\frac{\partial E_x(p, y, z)}{\partial z} = -\mu \cdot p \cdot H_y(p, y, z); \quad (5)$$

$$\frac{\partial E_x(p, y, z)}{\partial y} = \mu \cdot p \cdot H_z(p, y, z); \quad (6)$$

где p – параметр преобразования Лапласа; μ – магнитная проницаемость среды; $E_x(p, y, z) = L\{E_x(t, y, z)\}$; $H_{y,z}(p, y, z) = L\{H_{y,z}(t, y, z)\}$; $j_x(p, y, z) = L\{j_x(t, y, z)\}$

В общем случае плотность тока описывается зависимостью:

$$j_x(p, y, z) = (p \cdot \varepsilon + \gamma) \cdot E_x(p, y, z) + j_{x1,2}(p, y, z), \quad (7)$$

где γ, ε – удельная электропроводность и диэлектрическая проницаемость среды, $j_{x1,2}(t, y, z)$ – плотность стороннего тока в индукторах 1 и 2, соответственно,

$$j_{x1}(p, r, z) = j_1(p) \cdot f(y) \cdot \delta(z + L_1), \quad L_1 = (d + d_1 + h),$$

$$j_{x2}(p, y, z) = j_2(p) \cdot f(y) \cdot \delta(z - L_2), \quad L_2 = (d + d_2 + h),$$

$f(y)$ – функция поперечного распределения тока в обмотках индукторов;

$\delta(x)$ – дельта функция Дирака.

После решения поставленной задачи с помощью уравнений Максвелла было получено выражение для определения неизвестной удельной электропроводности ферромагнетика

$$\gamma_2 \approx \frac{\gamma_1 \cdot d_1}{d_2} \cdot \frac{j_{2m}}{j_{1m}}. \quad (8)$$

где j_{1m}, j_{2m} – амплитудное значение тока в индукторах 1 и 2, соответственно.

Зависимость (8) говорит о том, что в измерениях электропроводности предлагаемым методом при достаточно низких частотах сигналов в обмотках индукторов магнитные свойства исследуемого образца не оказывают никакого влияния на результаты измерений.



3. Способ бесконтактного измерения удельной электропроводности листового ферромагнетика с помощью «встречных» магнитных полей в системе с индукторами, обмотки которых представляются тонкостенными проводящими слоями, отделяющими собственно систему от свободного полупространства. Данная модель представляется достаточно адекватной реально возможной технической реализации, поскольку позволяет количественно учесть влияние металла обмоток на протекающие электромагнитные процессы и, соответственно, на вид рабочих соотношений для определения неизвестной электропроводности исследуемого образца.

Предлагаемая модельная схема системы приведена на рис. 5.

Измерительный комплекс состоит из параллельно размещённых плоского индуктора – 1, первого немагнитного листового металла (со стороны индуктора – 1), второго листового магнитного металла (со стороны индуктора – 2) и, собственно, плоского индуктора – 2.

Все составляющие комплекса разделены диэлектрическими промежутками.

Индукторы – 1 и 2 подключаются к источнику питания так, чтобы обеспечить возможность отдельной регулировки токов в их обмотках, что позволяет добиться нулевого магнитного потока в пространстве между листами.

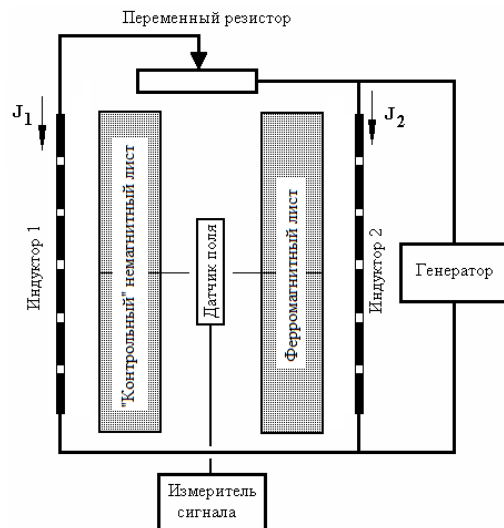


Рисунок 5 – Модельная схема измерения удельной электропроводности листовых металлов при возбуждении системы индукторами с «тонкостенными» обмотками

Немагнитный металл является контрольным. Его электропроводность – γ_1 , магнитная проницаемость – $\mu_1 \approx \mu_0$ (μ_0 – магнитная проницаемость вакуума) и толщина – d_1 известны. Второй листовой металл обладает известной толщиной – d_2 , но неизвестными электропроводностью – γ_2 и магнитной проницаемостью – μ_2 .

Работоспособность предлагаемого способа зависит от многих факторов. Но обязательным среди них является низкочастотный временной режим, обеспечивающий достаточную «прозрачность» элементов системы для действующих полей, что означает их интенсивное проникновение сквозь листовые металлы и обмотки индукторов.

При решении поставленной задачи принимаем следующие допущения.

1. Источниками возбуждаемого поля в системе являются индукторы-соленоиды 1 и 2 одинаковой геометрии и идентичным расположением относительно листовых металлов на одинаковом и достаточно малом расстоянии – h от них, так что $\frac{h}{a} \ll 1$, где a – ширина обмоток соленоидов.

2. В каждом из индукторов токоподводы к рабочей зоне удалены настолько, что их влиянием можно пренебречь.



3. Изоляционные промежутки между витками – b достаточно малы, так что $\frac{b}{a} \ll 1$.

4. Плотность токов в соленоидах – $j_1(t)$ и $j_2(t)$. Их временные параметры таковы, что в расчётах приемлемо известное условие квазистационарности происходящих электромагнитных процессов и $\left(\frac{\omega}{c} \cdot a\right) \ll 1$ (здесь ω – циклическая частота, c – скорость света в вакууме) [4].

Плоские обмотки соленоидов и металлические листы являются достаточно тонкостенными (но не «абсолютно прозрачными!») с геометрической, а также с электродинамической точек зрения, так что $\frac{d_i}{a} \ll 1$ и $\frac{d_{1,2}}{a} \ll 1$, а $\omega \cdot \mu_0 \cdot \gamma_i \cdot d_i^2 \ll 1$ и $\omega \cdot \mu_0 \cdot \gamma_{1,2} \cdot d_{1,2}^2 \ll 1$ ($d_{i,1,2}$ – толщины обмоток соленоидов и листовых металлов, соответственно, μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, γ_i – удельная электропроводность металла обмоток соленоидов, $\gamma_{1,2}$ – удельные электропроводности металлических листов).

5. В измерении ОХ соленоиды достаточно протяжённы, так что $\frac{d}{dx} \approx 0$.

6. Размеры листов в измерениях ОХ и ОУ достаточно велики, расстояние между ними – $2d$ достаточно мало $\left(\frac{2d}{a} \ll 1\right)$, магнитное поле между ними однородно.

7. В соответствии с положениями 1÷7 для проведения расчётов приемлема модель на рис. 6.

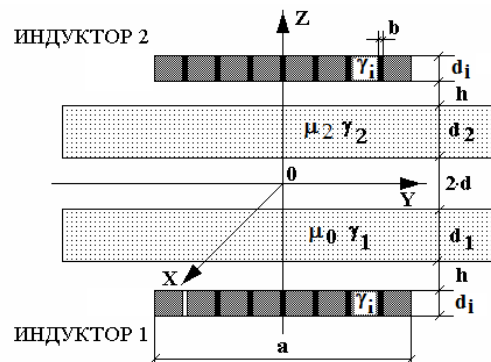


Рисунок 6 – Расчётная модель

8. Магнитная проницаемость исследуемого листового металла – $\mu_2 \approx \text{const}$.

9. Система возбуждается x – составляющей тока индуктора, вследствие чего нетривиальными составляющими вектора электромагнитного поля являются $E_x \neq 0, H_{y,z} \neq 0$.

Уравнения Максвелла в пространстве L – изображений с учётом нулевых начальных условий, имеют вид [6]:

$$\begin{cases} \frac{\partial H_z(p, y, z)}{\partial y} - \frac{\partial H_y(p, y, z)}{\partial z} = j_x(p, y, z); \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial E_x(p, y, z)}{\partial z} = -\mu \cdot p \cdot H_y(p, y, z); \end{cases} \quad (10)$$



$$\frac{\partial E_x(p, y, z)}{\partial y} = \mu \cdot p \cdot H_z(p, y, z); \quad (11)$$

где p – параметр преобразования Лапласа; μ – магнитная проницаемость среды; $E_x(p, y, z) = L\{E_x(t, y, z)\}$; $H_{y,z}(p, y, z) = L\{H_{y,z}(t, y, z)\}$; $j_x(p, y, z) = L\{j_x(t, y, z)\}$.

В общем случае плотность тока описывается зависимостью

$$j_x(p, y, z) = (p \cdot \varepsilon + \gamma) \cdot E_x(p, y, z) + j_{x1,2}(p, y, z), \quad (12)$$

где γ, ε – удельная электропроводность и диэлектрическая проницаемость среды,

$j_{x1,2}(t, y, z)$ – плотность стороннего тока в индукторах 1 и 2, соответственно,

$$j_{x1}(p, r, z) = j_1(p) \cdot f(y) \cdot \delta(z + L_1), \quad L_1 = (d + d_1 + h),$$

$$j_{x2}(p, y, z) = j_2(p) \cdot f(y) \cdot \delta(z - L_2), \quad L_2 = (d + d_2 + h),$$

$f(y)$ – функция поперечного распределения тока в обмотках индукторов;

$\delta(x)$ – дельта-функция Дирака.

Поскольку поставленная задача классифицируется как линейная и аддитивная относительно характеристик электромагнитных процессов, справедлив принцип суперпозиции полей, возбуждаемых каждым из источников.

Решение выполнялось для каждого из них в отдельности. При этом положим, что металл обмотки действующего источника поля не влияет на электромагнитные процессы в системе, а металл обмотки второго соленоида представляет собой тонкостенный металлический экран, отделяющий систему от свободного полупространства.

Основным результатом проведенных расчетов является то, что при решении уравнения Максвелла было получено выражение, которое указывает на возможности измерения удельной электропроводности как магнитного, так и немагнитного металла:

$$\gamma_2 \approx \left(\frac{\gamma_1 \cdot d_1}{d_2} \right) \cdot \frac{H_{2m}}{H_{1m}}, \quad (13)$$

где $H_{1,2m}$ – амплитуды напряженностей магнитного поля в рабочих зонах индукторов.

С практической точки зрения и для полноты теоретического описания рассматриваемой системы представляет интерес соответствующее соотношение между токами в обмотках индукторов.

Если принять, что временные зависимости токов в обмотках индукторов одинаковы, отличны только их амплитуды – $J_{1,2m}$, то

$$\gamma_2 = \left(\frac{\gamma_1 \cdot d_1}{d_2} \right) \cdot \left(\frac{J_{2m}}{J_{1m}} \cdot \left(1 + \frac{\gamma_i d_i}{\gamma_1 d_1} \right) - \frac{\gamma_i d_i}{\gamma_1 d_1} \right), \quad (14)$$

где γ_i, d_i – удельная электропроводность и толщина металла обмотки индукторов, представленными тонкостенными проводящими слоями.

Выводы:

1. Проведен анализ способов бесконтактного измерения удельной электропроводности тонкостенных листовых металлов при магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ).

2. Работа систем с использованием метода «встречных» полей возможна исключительно в низкочастотном режиме возбуждаемых полей, когда имеет место их интенсивное проникновение сквозь листовые металлы, один из которых является «контрольным образцом» с известными параметрами, а второй – образцом, электропроводность которого определяется.



3. В случае идеально проводящих обмоток индукторов рабочее соотношение для определения удельной электропроводности немагнитных листовых металлов включает напряжённости магнитного поля, возбуждаемого в рабочих зонах индукторов равными и одинаково направленными токами.

4. Метод «встречных» магнитных полей позволяет измерять удельную электропроводность не только немагнитных металлов, но и тонкостенных листовых ферромагнитных образцов, причём в случае «абсолютно прозрачных» обмоток индукторов рабочее соотношение для определения удельной электропроводности включает не напряжённости магнитных полей на внешних границах листовых металлов, а токи, возбуждающие систему.

5. Обоснована практическая действенность конструктивного варианта исполнения реальной измерительной системы:

- с оценкой влияния обмоток индукторов, как тонкостенных экранов, отделяющих измерительную систему от свободного полупространства,
- с выводом рабочих соотношений для определения неизвестной удельной электропроводности тонкостенных листовых металлов,
- с выводом о независимости рабочих соотношений для определения электропроводности от наличия магнитных свойств исследуемого металла, что позволяет измерение электрофизических характеристик проводников любой природы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малиновский В. Н. Электрические измерения / Под ред. В. Н. Малиновского. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 393 с.
2. Тер-Хачатуров А. А. Измерительная техника / А. А. Тер-Хачатуров, Т. М. Алиев – М. : Высшая школа, 1991. – 384 с.
3. Пат. 96335 України, В21 Д 26/14. Спосіб вимірювання питомої електропровідності листових металів / Батигін Ю. В., Гнатов А. В., Смірнов Д. О.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № а 200913091 заявл. 16.12.2009; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 20.
4. Батыгин Ю. В. Магнитное поле в системе из двух соленоидов, разделенных тонкостенными проводниками / Ю. В. Батыгин, И. И. Щетинская, Л. Т. Хименко // Техническая электродинамика. – К., 1990. – № 4.
5. Батыгин Ю. В. Бесконтактный способ измерения удельной электропроводности листовых металлов / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, М. В. Барбашова та ін. // Електротехніка і електромеханіка. – Харків, 2012. – № 1. – С. 69-72.
6. Корн Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1973. – 831 с.

Барбашова М.В. ВИМІРЮВАННЯ ПИТОМОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ЛИСТОВИХ МЕТАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ

У статті представлено аналіз способів безконтактного вимірювання питомої електропровідності тонкостінних листових металів при магнітно-імпульсній обробці металів (МІОМ). Розкрито основи методів, заснованих на компенсації електромагнітних полів двох соленоїдів у внутрішній порожнині системи з двома листовими металевими зразками. Показані різні конструктивні виконання джерел поля (зокрема, їх обмоток). Наведено аналітичні співвідношення для розрахунку основних електромагнітних характеристик розглянутих систем.

Barbashova M. CONDUCTIVITY MEASUREMENT OF SHEET METAL USING MAGNETIC IMPULSE TECHNOLOGY

The analysis of methods of noncontact electric conductivity measurement of thin-walled sheet metals when magnetic-pulse metal working (MPMW) is provided in the article. The foundations of methods, based upon compensation of electromagnetic fields of two solenoids in an internal cavity of system with two sheet metal samples, are revealed. Various designs of sources of a field (in particular, their windings) are shown. The analytical expressions for calculation of electromagnetic characteristics of considered systems are given.



УДК 593.5.19

ЗАХИСТ ВІД ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИМ ОКСИДУВАННЯМ

Імбірович Н.Ю.

Луцький національний технічний університет,

Клапків М.Д.

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, м. Львів,

Повстяной О.Ю., Зайчук Н.П.

Луцький національний технічний університет

Дана робота присвячена дослідженню властивостей комбінованих металооксидних покриттів та визначенню їх зносостійкості. У процесі випробувань було проведено мікроструктурні дослідження комбінованих покриттів, визначено їх мікротвердість та зносостійкість. У результаті проведених експериментів було встановлено, що отримані комбіновані металооксидні покриття характеризуються високою мікротвердістю та низькою здатністю до зносу.

Ключові слова: оксидокерамічні покриття, комбіновані електрометалізаційно-плазмoeлектролітні покриття, плазмoeлектролітне оксидування, спресовані втулки, сталь 40X, мікроструктура, мікротвердість, зносостійкість.

Вступ. З підвищенням робочих швидкостей, тиску, температур, агресивності середовищ, посилювання умов для роботи сучасного виробництва, збільшується й інтенсивність зношування, корозії та інших видів пошкодження поверхні металу деталей і механізмів, що контактують з оброблюваними матеріалами і зношуючими середовищами [1].

Протягом багатьох років вдосконалення інструментальних матеріалів відбувалось шляхом підвищення твердості, теплостійкості, зносостійкості при одночасному зниженні характеристик міцності і в'язкості.

Проблема створення інструментального матеріалу з «ідеальними властивостями» повинна вирішуватися на основі розробки композиційного інструментального матеріалу, в якого високі значення поверхневої твердості, теплостійкості і фізико-хімічної інертності поєднувалися б з достатніми значеннями міцності, в'язкості і границі витривалості та оптимальним співвідношенням «крихкої» і «пластичної» міцності. Одним з найбільш ефективних способів забезпечення оптимального поєднання «твердість – пластичність» є застосування різних технологій поверхневої модифікації, найбільше застосування при цьому знаходять технології нанесення зносостійких покриттів.

Сучасні технології дозволяють отримувати покриття комбінованого складу, багатошарові, з індивідуальними фізико-механічними, хімічними та трибологічними властивостями.

Аналіз останніх досліджень. Широко відомі методи підвищення захисних властивостей оксидних плівок шляхом термічного окислення та анодування в електролітах різного хімічного складу також не забезпечують сучасних вимог щодо експлуатаційних характеристик. У той же час цим вимогам повинні відповідати синтезовані за перспективними технологіями в електролітній плазмі конверсійні оксидокерамічні покриття складу Al_2O_3 , які характеризуються високою адгезією і низькою наскрізною пористістю [2, 3]. Процес нанесення покриття здійснюється в плазмі іскрових розрядів та носить назву плазмoeлектролітного оксидування (ПЕО).

У результаті синтезуються на поверхні високотемпературні оксидокерамічні покриття, які характеризуються високими фізико-механічними властивостями [4, 5]. Процес здійснюється за схемою «анод-катод» в умовах поверхневих іскрових розрядів на оброблюваній поверхні (аноді) у результаті плазмохімічних реакцій, а управляти властивостями покриттів можна зміною складу електроліту і режимів синтезу. Створені таким способом покриття мають близьку до кераміки полікристалічну структуру, відзначаються високими адгезією до основи, твердістю та корозійною тривкістю.



Однак метод ПЕО використовується в основному стосовно алюмінієвих сплавів, а останнім часом поширюється і на цирконієві, магнієві та титанові сплави. Проте, сучасні технології дозволяють отримувати покриття комбінованого складу, багат шарові, з індивідуальними фізико-механічними, хімічними та трибологічними властивостями. Для масового застосування з точки зору надійності технологій, матеріальних і енергетичних затрат найбільш привабливими є технології газотермічного напилення і плазмоелектролітного оксидування [6-8].

Мета досліджень. Метою даної роботи було отримати деталі з захисними, комбінованими металооксидними покриттями, а також дослідити їх мікроструктуру та фізико-механічні властивості.

Обговорення результатів. Електрометалізаційне покриття було напилене із дротів з Д16 на робочу поверхню деталі, після чого зразки були синтезовані методом плазмоелектролітного оксидування, в процесі якого при накладанні зовнішнього електричного поля на катоді і аноді проходять хімічні та електрохімічні процеси в результаті яких анод (досліджуваний зразок) розчиняється або пасивується (окислюється), а на катоді виділяється водень.

У даній роботі було досліджено мікроструктуру, товщину та мікротвердість комбінованого металооксидного покриття, нанесеного на втулку, спресовану з порошку ШХ15+графіт+мідь та зносостійкість такого покриття, нанесеного на ролики зі сталі 40Х. Мікротвердість електрометалізаційно-плазмоелектролітного (металооксидного) покриття досліджували на мікротвердомірі ПМТ-3, а трибологічні дослідження проводили за схемою випробувань «диск – колодка» на установці СМЦ-2 при контактних навантаженнях від 2 до 14 МПа з комп'ютерним записом даних з кроком 0,02 с.

При нанесенні покриттів із дротів зв Д16 електродуговим методом на суцільну основу (спресовані втулки та Ст40Х) застосовували модифіковану систему металізатора, завдяки чому досягли зменшення розміру частинок розпилюваного металу та збільшення швидкості їх руху, що дало змогу отримати щільні й гомогенні покриття (рис. 1а). Напилене покриття має типову ламелярну будову. Комбіновані металооксидні покриття характеризуються трьома чітко вираженими областями: верхній пористий шар, щільна та широка область практично безпористого покриття та тонкий проміжний шар на межі контакту з алюмінієвим напиленням. Оксидокерамічне покриття синтезується на поверхні металу за високих температур (6000...10000 °С). При цьому оксидний шар росте вглиб електрометалізаційного покриття доволі рівномірно (рис. 1, б).

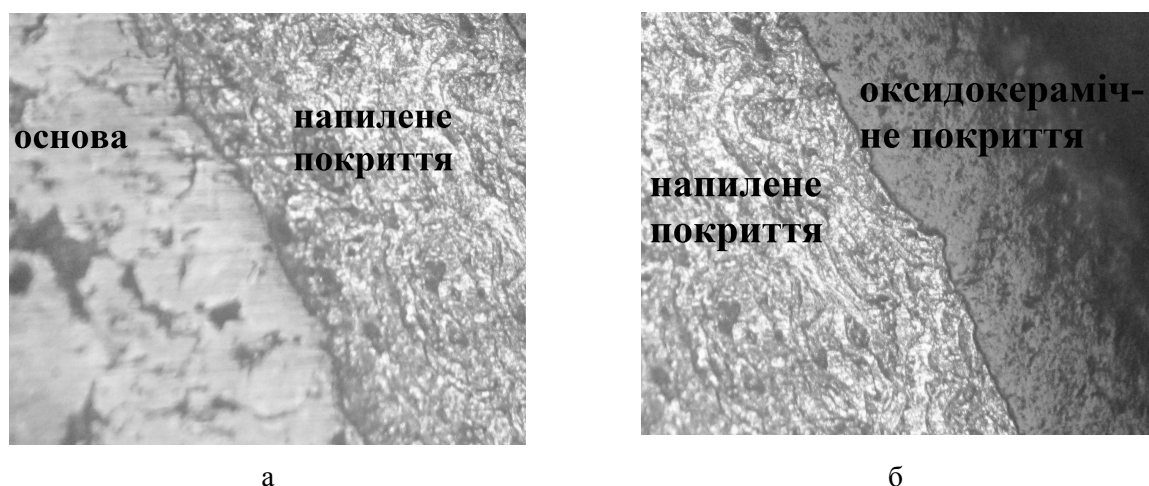


Рисунок 1 – Мікроструктури напиленого покриття з Д16 на спресовану втулку (а) та оксидокерамічного покриття синтезованого плазмоелектролітним оксидуванням на напиленому покритті (б); x100

Важливою характеристикою покриття є його товщина. Експериментально встановлено, що товщина комбінованого покриття на спресованій втулці становить



100...110 мкм, причому товщина проміжного електрометалізаційного покриття приблизно в 2,5 рази більша від товщини синтезованої оксидокераміки (рис. 2).



Рисунок 2 – Залежність товщини покриття від методу його нанесення

Мікротвердість покриттів в основному залежить від їх фазового складу. Можна передбачити, що найбільшу мікротвердість будуть мати покриття з максимальним вмістом $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, тобто покриття плазмоелектролітно окисовані. Для більш повної характеристики мікротвердість покриттів визначали на різній глибині (рис. 3).

Найвищою вона є в оксидокерамічних покриттів, як і передбачалося. Максимальне значення мікротвердості становить 10 ГПа. З графіка видно, що біля границі формування оксидокерамічного покриття мікротвердість електрометалізаційного зростає. Цей факт підсилює твердження про те, що оксидокерамічне покриття росте вглиб металу.

Оксидокерамічні шари, синтезовані як на суцільних матеріалах, так і на електрометалізаційних покриттях мають пористий технологічний шар (верхній) з численними мікротріщинами. Товщина цього технологічного шару займає приблизно 20...30% від загальної товщини оксидокерамічного покриття і визначається режимами оксидування.

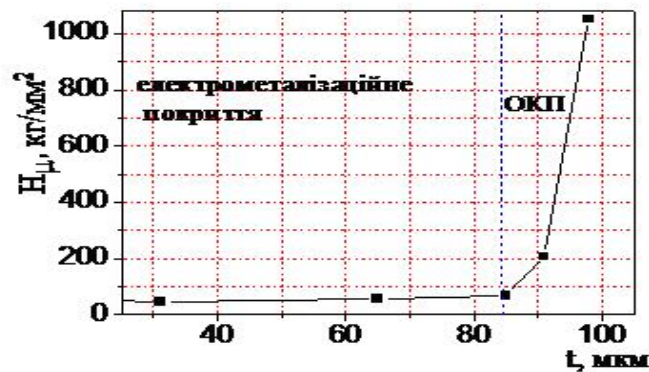


Рисунок 3 – Мікротвердість комбінованого металооксидного покриття

Тому, перед проведенням трибологічних випробувань зразків з оксидокерамічними покриттями ці технологічні шари зішліфовували. При цьому використовували корундові круги.

Зносостійкість оксидокерамічних шарів, синтезованих на зразках зі сталі 40Х з напилим покриттям порівнювали зі зносостійкістю необробленої загартованої сталі 45 (рис. 4). Дослідивши три пари тертя було виявлено, що у встановленому режимі тертя найменше значення коефіцієнта тертя є у парі контртіло з оксидокерамічним шаром на сплаві Д16 у парі зі зразком «диск» зі сталі 45 та контртіло з комбінованим металооксидним покриттям у парі зі зразком «диск» зі сталі 45 (відповідно 0,012 та



0,013 при 14 МПа). Порівнявши значення коефіцієнта тертя у парах сталь по сталі та оксидокерамічне покриття по сталі за однакового навантаження (8 МПа) виявили, що зносостійкість оксидокерамічного покриття на електрометалізаційному перевищує зносостійкість сталі майже в 13 разів.

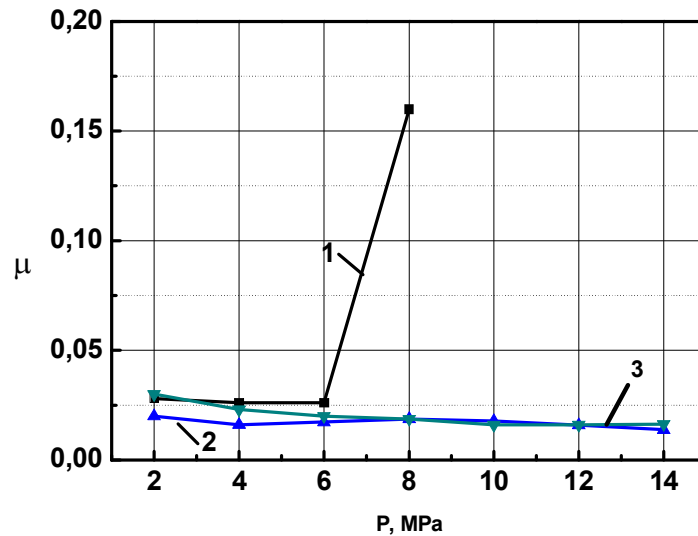


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта тертя від навантаження в парах тертя: 1 – сталь 40Х – сталь 45; 2 – оксидокерамічне покриття на Д16 – сталь 45; 3 – оксидокерамічне покриття на електрометалізаційному покритті з дроту Д16 (комбіноване покриття) – сталь 45. Мастило М10Г2к

Електронно-мікроскопічними дослідженнями вторинних структур, утворених на поверхнях тертя зразків з метало-оксидокерамічними покриттями, сформованими на електрометалізаційному покритті, виявлено, що при терті в мінеральному мастилі М10Г2к на поверхнях тертя відбувається відкладення плівок дитіофосфату цинку, а також виявлено сліди міді, внаслідок її відновлення з оксидів під час плазмоелектролітної обробки, що додатково призводить до зменшення коефіцієнта тертя у період припрацювання.

Дитіофосфат цинку є антифрикційним додатком практично у всіх мінеральних мастилах. Електронно-мікроскопічними дослідженнями на поверхнях тертя виявлено утворення вторинних сполук з вмістом Zn, S та P. Це, напевно, свідчить про формування на поверхнях тертя плівок дитіофосфату цинку, які забезпечують антифрикційні властивості пар тертя.

Висновки. Отже, за проведеними дослідженнями встановлено, що оксидокерамічні покриття порівняно з електрометалізаційними мають невелику товщину (25 мкм), однак характеризуються високою мікротвердістю, що в 12 разів перевищує мікротвердість спресованого порошку складу ШХ15+графіт+мідь. Виявлено, що оксидокерамічні покриття ростуть вглиб металу, що очевидно забезпечує високу адгезію такого покриття. Зносостійкість оксидокерамічного шару на електрометалізаційному покритті за однакових умов приблизно в 13 разів перевищує зносостійкість сталі 40Х.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бережний С. П. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин : навчальний посібник. – Запоріжжя : Вид-во ВАТ «Мотор Січ», 2006. – 420 с.
2. Клапків М. Д. Створення конверсійних оксидокерамічних покриттів на цирконієвих та титанових сплавах / М. Д. Клапків, Н. Ю. Повстяна, Г. М. Никифорчин // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. – № 2. – С.117-124.
3. Н. Ю Імбірович. Зносотривкість оксидокерамічних покриттів, синтезованих на титановому сплаві ВТ-8 плазмоелектролітною обробкою / Н. Ю Імбірович, А. В. Маткова, С. І. Остап'юк. // Наукові нотатки. – Луцьк, 2007. – Випуск 20. – С.181-183.



4. Клапків М. Фазовий склад плазмоелектрохімічних оксидокерамічних покривів / М. Клапків, В. Посувайло, Б. Стельмахович, Н. Повстяна, С. Остап'юк // Фізико-хімічна механіка матеріалів : спец. вип. – 2006. – Т. 5. – С. 750-755.

5. Клапків М. Д. Зносотривкість та корозійні характеристики конверсійних покриттів в умовах близьких до експлуатаційних / М. Д. Клапків, В. М. Посувайло, А. І. Бассараб // «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях» : материалы Шестой ежегодной Промышленной конференции с международным участием и блиц-выставки (20-24 февраля 2006 г., п. Славское) ; Фізико-механічний інститут ім. Карпенка Г.В. НАН України. – С. 235-238.

6. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки – М. : Машиностроение, 1985. – 240 с.

7. Ивашко В. С. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий / В. С. Ивашко, И. Л. Куприянов, А. И. Шевцов. – Минск : Наука и техника, 1996. – 375 с.

8. Електродугові відновні та захисні покриття / [В. І. Похмурський, М. М. Студент, В. М. Довгунік, Г. В. Похмурська, І. Й. Сидорак]. – Львів : Вид. ФМІ НАН України, 2005. – 192 с.

Имбирович Н.Ю., Клапків М.Д., Повстяної А.Ю., Зайчук Н.П. ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОМЕТАЛИЗАЦИЙНО-ПЛАЗМО-ЕЛЕКТРОЛИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Работа посвящена исследованию свойств комбинированных металлооксидных покрытий и определению их износостойкости. В процессе исследований были проведены микроструктурные исследования комбинированных покрытий, определено их микротвердость и износостойкость. В результате проведенных экспериментов было установлено, что комбинированные металлооксидные покрытия характеризуются высокой микротвердостью и низкой способностью к изнашиванию.

Ключевые слова: оксидокерамические покрытия, комбинированные электрометализационно-плазмоэлектролитные покрытия, плазмоэлектролитное оксидирование, спрессованные втулки, сталь 40X, микроструктура, микротвердость, износостойкость.

Imbirovich N.Y., Klapkiv M.D., Povstianoi A.U., Zaichuk N.P. TRIBOLOGICAL STUDY OF COMBINED ELECTRO-METALIZED AND PLASMA-ELECTROLYTIC COATINGS

This work is devoted to the study of composite metal-oxide coatings and their durability. Microstructure studies of combined coatings have been carried out, their micro-hardness and wear resistance have been determined. As a result of experiments it was found that the combined metal-oxide coatings are characterized with high micro-hardness and low degree of wear.

Keywords: metal-oxide coatings, combined electro-metalized and plasma-electrolytic coatings, plasma-electrolytic oxidation, pressed bushings, steel 40X, microstructure, micro-hardness, wear resistance.



ПОВЫШЕНИЕ ТВЁРДОСТИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ЗА СЧЁТ ЖИДКОСТНОГО ЦИАНИРОВАНИЯ И ЗАКАЛКИ

Касилов О.А., Малыгин Б.В.

Херсонская государственная морская академия

В работе исследовался эффект повышения поверхностной твёрдости 20 марок легированных конструкционных и инструментальных сталей путём жидкостного цианирования в изотермическом режиме при 800°C и ступенчатом при 820-870°C с закалкой в масле непосредственно из соляной ванны в сравнении со стандартной закалкой от оптимальных температур.

Для всех сталей получен упрочняющий эффект. Низкий отпуск, назначаемых для снижения внутренних напряжений, уменьшает твёрдость на 2-4ед. HRCэ.

Ключевые слова: легированная сталь, цианирование, упрочнение, поверхностная твёрдость, износостойкость.

Вступление. В процессе эксплуатации судовых систем и механизмов детали машин, изготовленные из углеродных и легированных сталей, подвергаются большим механическим нагрузкам, приводящим к износу и преждевременному выходу из строя как отдельных деталей, так и узлов.

Для повышения износостойкости и работоспособности деталей узлов и механизмов в машиностроении, судостроении, транспорте и инструментальном производстве применяют различные виды химико-термического упрочнения изделий – цементацию, азотирование, цианирование. Последний вид химико-термической обработки имеет преимущество в производительности процесса, поэтому он выбран нами для исследования как быстрейший способ достижения эффекта поверхностного упрочнения изделий из легированных сталей.

Анализ публикаций. Цианирование стали заключается в одновременном насыщении поверхности изделия углеродом и азотом, характеризуется большой производительностью и обеспечивает повышение поверхностной твёрдости, износостойкости, предела выносливости при изгибе и контактной выносливости [1, 2, 3, 4, 6]. Твёрдое цианирование осуществляют аналогично твёрдой цементации, только карбюризатор содержит цианистые соли, например: 30-40% $K_4Fe(CN)_6$ (жёлтая кровяная соль), 10% Na_2CO_3 (сода), остальное – древесный уголь. Процесс по производительности значительно менее эффективен, чем жидкое и газообразное цианирование. Газовое цианирование осуществляют в смеси науглероживающих и азотируемых газов (например, смесь светильного газа и аммиака).

Жидкое цианирование проводят в расплавленных цианистых солях в смеси с нейтральными солями, например, состав (смеси) солей: цианистые – $NaCN$, KCN , $Ca(CN)_2$, $K_4Fe(CN)_6$, и нейтральные – $NaCl$, Na_2CO_3 , $BaCl_2$, $CaCl_2$ и другие. В зависимости от соотношения количества цианистых и нейтральных солей составы ванн подразделяются на высокопроцентные (~50% цианида), среднепроцентные (~25% цианида) и низкопроцентные (~10% цианида). Основным компонентом в солях является группа циана (CN), за счёт которой происходит диффузионное насыщение стали азотом и углеродом, химизм процесса описан в [1-6]. Высокотемпературное (среднетемпературное) цианирование проводят в среднепроцентных цианистых ваннах с $NaCN$ (20-25%), $NaCO_3$ (25-50%) и $NaCl$ (25-50%) при 820-870°C для получения диффузионного слоя 0,15-0,45мм в течение 40-120 мин. [4, 6].

Глубокое цианирование проводят в низкопроцентных ваннах, содержащих до расплавления 8% $NaCN$, 82% $BaCl_2$ и 10% $NaCl$, при 900-950°C в течение 1,5-6 ч. для получения слоя большой толщины (0,5-2,0 мм) с высоким содержанием углерода (0,8-1,2 %) и низким содержанием азота (~0,2%) [6].



Низкотемпературному цианированию подвергают в основном инструмент из быстрорежущей стали при 550-570°C с последующим медленным охлаждением. Твёрдость цианированной быстрорежущей стали составляет 1000-1100 HV, а при более длительном цианировании достигает 1150-1200 HV и 70-72 HRC, что повышает твёрдость нецианированного инструмента на 150-200HV [1]. Важно, что цианирование повышает стойкость инструмента при нагреве. При цианировании в ванне с 35-50% NaCN (остальное – NaCO₃ и NaCl), при температуре 560°C и выдержке 5-30 минут получают глубину слоя 0,02-0,04мм [4].

Низкотемпературному цианированию при 570°C в течение 0,5-3 ч. подвергают среднеуглеродистые стали в высокопроцентных цианистых ваннах, через которые пропускают сухой воздух (тенифер-процесс) с целью насыщения поверхности стали в большой степени азотом и меньшей степени углеродом. В результате такой обработки возникает тонкий (10-15 мкм) карбонитридный слой Fe₃(N,C), обладающий хорошим сопротивлением износу и менее хрупкий, чем чистые карбиды (Fe₃C) и нитриды (Fe₃N). Под этим слоем лежит слой азотистого феррита (на легированных сталях HV600-1000) толщиной 0,2-0,5 мм [5].

Вышеуказанные режимы жидкостного цианирования относятся к изотермическому процессу насыщения стали азотом и углеродом, а сведения о ступенчатых режимах практически отсутствуют. Тем не менее известно, что при пониженных температурах идёт интенсивное насыщение стали азотом, а при повышенных углеродом [5]. Поэтому представляет интерес исследовать эффективность ступенчатого цианирования (нижняя ступень – 800 °C, верхняя – 870 °C) с последующей закалкой.

Цель работы – исследовать эффект повышения твёрдости (следовательно, износостойкости) деталей из легированных конструкционных и инструментальных сталей за счёт кратковременного (1,5-2 ч.) жидкостного цианирования в цианистой ванне в изотермическом (при 800°C) и ступенчатом (820-870°C) режимах и закалки в масле.

Изложение основного материала. В условиях электромашиностроительного завода исследовали возможность повышения поверхностной твёрдости деталей из легированных сталей марок 18X2H4BA, 25X2Г2H2MФC, 20X3BMФ, 30X2MФ, 35X2MT, 30XГCНА, 38XНЗMФА, 36Г2C, 40X, 35X5BMФC, 4X5B2ФC, 5XHM, 5XHB, 5XB2C, 5X2MФ, 55XГMT, 6XГ2MФ, 6XCMT, 55XГCНMФ, 55XГCНM2Ф путём жидкостного цианирования с последующей закалкой непосредственно из соляной ванны в масле и заключительного отпуска для снятия напряжений.

Для опытов использовали стандартное заводское оборудование: соляная ванна для цианирования В20 (низкопроцентная – 10% цианидов, состав: 45% NaCO₃, 45% NaCl, 10% K₄Fe(CN)₆·3H₂O), инструментальная корзина OM-196, закалочный масляный бак (масло Н20А ГОСТ-20799), шахтная и камерная электрические печи для отпуска деталей, твердомеры Роквелл и Виккерс, оптический микроскоп МИМ-7 для контроля микроструктуры до и после цианирования, а также для определения глубины цианированного слоя на образцах-свидетелях. Исследовали два режима цианирования:

1) изотермический – 800°C 1,5-2 ч., закалка в масле, отпуск при 100-120°C 1 ч. и 150-170°C 1 ч.

2) ступенчатый – 820°C 1 ч – 870°C 1 ч, закалка в масле, отпуск 2 ч при 200, 400, 500, 550, 600°C, а также при 170°C 1,5 ч.

Исследуемые стали обладают различной закаливаемостью (максимальной поверхностной твёрдостью, зависящей главным образом от концентрации углерода) и прокаливаемостью (глубиной закалённого слоя, зависящего в основном от содержания углерода и легирующих элементов – хрома, никеля, марганца, молибдена, вольфрама и других факторов). Готовые детали и образцы размером 20x20x100 мм нагревали в электрической камерной печи до оптимальных температур, выдерживали в течение 15-20 мин. и охлаждали в масле.



В табл. 1 представлені результати замера твёрдості, из которой видно, что стали 20X3BMФ, 18X2H4BA и 25X2Г2H2MФC обладают пониженной закаливается, хотя комплекс легирующих компонентов указывает на их высокую прокаливаемости. Среднеуглеродистые стали 30XГCНА, 36Г2C, 40X и 38XНЗMФА обладают средней закаливается, а прокаливаемости их различна, наибольшая – у 38XНЗMФА. Полутеплостойкие штамповые стали 5XНМ, 5XНВ, 5XB2C, 5X2MФ, 552XГMТ, 55XГCНMФ и 55XГCНM2Ф обладают повышенной закаливается и достаточной провалывается, возрастающей с увеличением концентрации легирующих элементов.

Таблица 1 – Твёрдость на деталях исследуемых сталей после стандартной закалки в масле от оптимальных температур (без отпуска)

№	Марка стали	T_3 °C	№	Марка стали	T_3 °C
		HRC ₃			HRC ₃
1	18X2H4BA	850/48	11	5X2MФ	900/60
2	25X2Г2H2MФC	1000/47	12	5XНВ	850/60
3	30XГCНА	860/54	13	5XB2C	900/59
4	36Г2C	870/57	14	55XГCНMФ	950/61
5	40X	860/58	15	55XГCНM2Ф	1050/60
6	38XНЗMФА	850/56	16	4X5B2ФC	1050/59
7	5XНМ	840/60	17	35X5BMФC	1050/58
8	55XГMТ	850/60	18	35X2MТ	1000/49
9	6XГ2MФ	850/62	19	30X2MФ	1000/49
10	6XCMT	850/62	20	20X3BMФ	1050/43

Низколегированные инструментальные стали 6XCMT и 6XГ2MФ характеризуются высокой закаливается и средней прокаливаемости. Стали 30X2MФ и 35X2MТ, содержащие 2% Cг, 1,2% Мо, 0,3% V и 0,1% Ti разработаны как универсальные, хорошо поддающиеся химико-термической обработке – цементации, азотированию, цианированию и предназначены для изготовления деталей (вставок) полутеплостойких штампов, а также для машиностроительных деталей, работающих при температурах до 500-550°C.

До химико-термической обработки они характеризуются средней закаливается и прокаливаемости, а после неё их закаливается резко возрастает.

В табл. 2 приведены результаты изотермического цианирования на глубину 0,15-0,30 мм с последующей закалкой из соляной ванны в масло и низким отпуском. Для всех сталей получен упрочняющий эффект – повышение поверхностной твердости деталей, закалённых после цианирования, по сравнению с деталями, прошедшими стандартную закалку, составляет для стали №1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 соответственно 8, 10, 5, 2, 3, 6, 4, 3, 3, 3 ед. HRC₃. Таким образом, изотермический режим цианирования при 800°C эффективен для конструкционных сталей 18X2H4BA, 25X2Г2H2MФC, 30XГCНА, 38XНЗMФА, содержащих 0,18-0,38% C, и менее эффективен для инструментальных 5XНМ, 55XГMТ, 6XГ2MФ, 6XCMT, содержащих 0,5-0,6% C.

В табл. 3 даны результаты ступенчатого цианирования на глубину 0,2-0,4 мм с последующей закалкой в масле и отпуска в течение 2 ч при температуре 200, 400, 500, 550, 600°C. Ступенчатый режим цианирования при 820-870 °C более эффективен, чем изотермический при 800°C. Повышение твёрдости деталей после ступенчатого цианирования с закалкой непосредственно из соляной ванны по сравнению с деталями, прошедшими обычную стандартную закалку, составляет для стали № 1, 2, 5, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 соответственно 11, 16, 6, 5-6, 5, 6, 6, 2, 6, 6, 6, 15, 15, 21 ед. HRC₃. Следовательно, для конструкционных сталей 18X2H4BA, 25X2Г2H2MФC, 30XГCНА, 35X2MТ, 20X3BMФ получен высокий упрочняющий эффект, для инструментальных сталей 5XНМ, 5X2MФ, 5XНВ, 5XB2C, 55XГCНMФ, 55XГCНM2Ф, 4X5B2ФC, 35X5BMФC он несколько ниже. После ступенчатого цианирования, закалки и отпуска при



170°C 1,5 ч. получили для стали 20X3BMФ, 30X2MФ, 35X2MT, 55XГСНМ2Ф, 5X2MФ, 5XB2C, 5XНВ и 5XНМ твердость соответственно 60, 62, 62,5, 63, 62,5, 62, 61,5 и 61 HRC_Э. Для всех сталей после цианирования и закалки повышается твёрдость, низкий отпуск при 200°C снижает уровень упрочнённой стали на 2-4 ед. HRC_Э, а при высоком отпуске твёрдость снижается тем сильнее, чем выше температура отпуска и менее легирована сталь карбидообразующими элементами – хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием. На снижение твёрдости цианированного слоя могут оказывать влияние легирующие элементы – никель, марганец, хром, которые понижают точку мартенситного превращения и увеличивают процент остаточного аустенита (мягкой составляющей фазы).

Таблица 2 – Твёрдость стали после цианирования на глубину 0,15-0,30 мм при температуре 800 °С 1,5-2 ч, закалки в масле и отпуска при 100-120°C 1ч (числитель) и 150-170 °С 1ч (знаменатель)

№	Марка стали	HRC _Э	№	Марка стали	HRC _Э
1	18X2H4BA	56/54	6	38XH3MФА	62/59
2	25X2Г2H2MФC	57/55	7	5XНМ	63,5/61
3	30XГCНА	59/57	8	55XГMT	62,5/59
4	36Г2C	59/57	9	6XГ2MФ	65/63
5	40X	61/58	10	6XСMT	65/63

Таблица 3 – Твёрдость стали после цианирования на глубину 0,2-0,4 мм по ступенчатому режиму (820°C 1ч-870°C 1ч), закалки в масле и отпуска 2ч при разных температурах

№	Марка стали	T _{отп.} , °C	Твёрдость		№	Марка стали	T _{отп.} , °C	Твёрд. HRC _Э
			HRC _Э	HV ₃₀				
1	18X2H4BA	20	59	724	2	25X2Г2H2MФC	20	63
		200	54	628			200	57
		400	47	517			400	54
		500	44	505			500	54
		550	42	503			550	52
		600	35	-			600	47
17	35X5BMФC	20	64	797	18	35X2MT	20	64-65
		200	61	730			200	61,5
		400	58	657			400	56
		500	55	620			550	54
		600	42	506				
14	55XГCНМФ	20	63	-	15	55XГCНМ2Ф	20	65-66
		200	60,5	720			500	55
		400	55	604			550	53
		500	54	604			600	50
20	20X3BMФ	20	64-65	769	16	4X5B2ФC	20	64-65
		550	47	523			200	59
19	30X2MФ	20	64-65	824	11	5X2MФ	20	65
		550	53	612			550	50
12	5XНВ	20	65	744	13	5XB2C	20	65
		550	53	488			550	50
5	40X	20	64-65	723	7	5XНМ	20	65-66
		200	56	653			550	43
		550	42	461				

Выводы:

1. Для исследованных марок стали получили упрочняющий эффект за счёт цианирования с последующей закалкой из цианистой ванны в масло.



2. Изотермический режим при 800°C 1,5-2ч. обеспечивает для стали получение диффузионного слоя глубиной 0,15-0,30 мм с твёрдостью от 56 до 65 ед. HRC_Э.

3. Ступенчатый режим при 820°C 1ч. – 870°C 1ч. позволяет получить при глубине диффузионного слоя 0,20-0,40 мм высокую твёрдость: для стали № 1, 2, 14, 17, 20, 19, 18, 5, 16, 12, 11, 13, 7, 15 соответственно 59, 63, 63, 64, 64,5, 64,5, 64,5, 64,5, 65, 65, 65, 65,5, 65,5 ед. HRC_Э. Для снижения внутренних напряжений следует назначать низкий отпуск при 170-200°C 1,5-2 ч., при этом твёрдость может снизиться на 2-4 ед. HRC_Э.

4. Результаты исследования будут полезны для выбора легированной стали и рационального режима жидкостного цианирования, закалки и отпуска для изделий транспорта и флота, для деталей машин, инструмента, штамповочной оснастки, испытывающих в работе истирающие нагрузки, для повышения их работоспособности и износостойкости.

5. Перспективы дальнейшего исследования – оптимизация химического состава легированной стали для жидкостного цианирования и корректировка режима ступенчатого цианирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конторович И. Е. Термическая обработка стали и чугуна / И. Е. Конторович. – М. : Металлургиздат, 1950. – С. 291-301.
2. Вязников Н.Ф. Термическая обработка стали / Н. Ф. Вязников. – М. : Металлургиздат, 1961. – С. 216-220.
3. Металловедение и термическая обработка стали : справочник. – Том 2. – М. : Металлургиздат, 1962. – С. 1016-1024.
4. Самохоцкий А. И. Технология термической обработки металлов / А. И. Самохоцкий. – М. : Машгиз, 1962. – С. 172-185.
5. Гуляев А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1977. – С. 336-338.
6. Лахтин Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – М. : Металлургия, 1985. – С. 138-141.

Касілов О.О., Малигін Б.В. ПІДВИЩЕННЯ ТВЕРДОСТІ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ЗА РАХУНОК РІДИННОГО ЦІАНУВАННЯ І ГАРТУВАННЯ

У роботі досліджувався ефект підвищення поверхневої твердості 20 марок конструкційних та інструментальних сталей шляхом рідинного ціанування в ізотермічному режимі при 800°C і ступінчастому при 820-870°C з гартуванням у маслі безпосередньо із соляної ванни в порівнянні зі стандартним гартуванням від оптимальних температур. Для усіх сталей отриманий зміцнювальний ефект. Низьке відпускання, яке назначають для зменшення внутрішніх напружень, зменшує твердість на 2-4 од. HRC_Э.

Ключові слова: легована сталь, ціанування, зміцнення, поверхнева твердість, зносостійкість.

Kasilov O.O., Malyhin B.V. HARDENING THE ALLOY STEEL BY CYANIDING AND WATER QUENCHING

Hardening of 20 grades of structural and instrumental steels by liquid cyaniding in isothermal conditions at 800°C and by stepped oil quenching at 820-870 °C in salt bath have been compared with standard quenching of optimum temperatures. Hardening effect has been obtained for all steel grades. Slow releasing to reduce internal hardening stress softens the steel by 2-4 units HRC_Э.

Keywords: alloy steel, cyaniding, hardening, surface hardness, wear resistance.



УДК.629.123

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛН УДАРНОГО ДАВЛЕНИЯ В СУДОВЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Колегаев М.А., Зуев С.В., Маслов И.З.

Одесская национальная морская академия,

Малахов А.В., Бендеберя Ф.А.

Одесский национальный морской университет,

Маслов В.А.

Херсонская государственная морская академия

В статье описана разработанная технология повышения производительности земснаряда путем применения волн ударного давления в гидравлической системе размыва грунта. Рассмотрены вопросы эксплуатации гибких трубопроводов и конических струйных аппаратов.

Ключевые слова: земснаряд, гидравлический удар, гибкий трубопровод, реактивная сила, технология размыва грунта.

Введение. Качество работы любого судна дноуглубительного флота напрямую определяется его производственными и техническими показателями. Эти показатели зависят не только от степени технической оснащенности судна или уровня подготовки экипажа, но также и от используемых способов дноуглубления или разгрузки на месте складирования. Поскольку производительность земснаряда напрямую зависит от скорости разгрузки на месте складирования, то используемые технологии разгрузки определяют как скорость сброса грунта, так и степень технической сложности реализации этой операции. Спекание грунта, грунтовые пробки внутри рефулерных грунтопроводов или залипание грунта на стенках и углах трюма очень часто требуют от экипажа проведение дополнительных и трудоемких операций. Качество реализации таких операций напрямую определяется техническим оснащением и состоянием судна.

Цель статьи. Цель статьи заключена в описании основных направлений модернизации используемых технологий транспортирования и перегрузки добываемого грунта, которые при своем правильном использовании могут привести к существенному снижению простоев судна при вывалке грунта и самое главное позволят выгружать весь перевезенный грунт без балластных остатков.

Особое внимание при использовании современных технологий рефулирования грунта должно уделяться плавучим или гибким грунтопроводам. В некоторых случаях их использования скорости набегающего потока могут быть очень большими и приводить к опасным вынужденным колебаниям трубы вплоть до разрушения мест ее соединений с другими гибкими судовыми конструкциями.

Вопрос о выборе длины гибкого трубопровода, уходящего в подводную часть является одним из определяющих. Возможны случаи, когда неправильно выбранные и назначенные режимы грунтодобычи будут приводить к авариям из-за возникающих больших колебаний. Предотвращение таких колебаний возможно только в том случае, когда известна зависимость их частотного спектра от силовых или кинематических нагрузок со стороны набегающего потока.

Правильность проектирования гибких трубопроводов хорошо характеризуется статистическим анализом отказов, связанных с нарушением нормальной работы в системе питания двигателей. Около 25% отказов связано с нарушениями герметичности или выходом из строя шлангов в топливной, воздушной или гидравлической системах [1]. Повышение мощности судовых двигателей, напрямую связано с ростом параметров потока в жестких и гибких трубопроводах, а следовательно требует при расчетах на прочность и жесткость учета всех параметров физического взаимодействия потока жидкости со стенками трубопровода. Параметры жидкости, допустимые для



прямолинейного участка могут быть недопустимо критическими в случае криволинейных участков или на локальных поворотах трубы.

Постановка задач исследований. Основная направленность исследований судовой гидравлической системы для добычи, транспортирования и выгрузки грунта должна обеспечивать непрерывную реализацию циклического процесса «импульсный гидравлический размыв – отбор со дна или из трюма – рефулирование или сброс при помощи гидросистем». Особое внимание необходимо также уделять упругим колебаниям гидравлических линий судна при прохождении через них потока грунтовой пульпы.

В качестве силовой энергии для разрушения уплотненного поверхностного слоя грунта может использоваться обычная жидкость. Достоинством предлагаемого подхода является возможность преобразования энергии жидкости в процесс механического разрушения без применения каких либо промежуточных механизмов, фрез, буров и т.п. Также в этом случае достигаются хорошие динамические характеристики процесса грунтодобычи при малых габаритах системы размыва.

Стартовое давление, которое должна развивать система размыва грунта будет всегда соответствовать данным о величине нормативного давления на основания из песчаных грунтов. Эти цифры приведены в табл. 1 и их анализ показывает, что система гидроразмыва может обладать относительно невысоким давлением выходной струи. Таким образом, основная задача исследований заключается в получении теоретических и экспериментальных данных, на основе которых возможно в последующем использовать явление гидравлического удара для создания импульсной системы размыва грунта и повышения технико-экономических показателей процесса добычи грунта судами дноуглубительного флота.

Таблица 1 – Нормативные давления на основания из песчаных грунтов, МПа

<i>Вид грунта</i>	<i>Плотный грунт</i>	<i>Грунт средней плотности</i>
Глинистый грунт	0,25	–
Пески гравелистые и крупные	0,45	0,35
Пески средней крупности	0,35	0,25
Пески мелкие	0,25	0,15
Пески пылеватые	0,25	0,2

В зависимости от условий обтекания трубопровода применительно к гибким трубопроводам возможно сформулировать два принципиальных класса расчетных задач. К первому классу можно отнести задачу о расчете колебаний трубопровода с фиксированной формой поперечного сечения. Ко второму классу – задачу, где действием эффектов от возникающих гидродинамических моментов пренебрегать нельзя. В таких задачах центр давления всегда является смещенным по отношению к центру тяжести сечения трубы и при их решении всегда появляются распределенные гидродинамические моменты, которые изменяют местный угол атаки и распределенные гидродинамические силы.

Результаты исследований. В ходе проведения исследований была разработана технология создания в гидравлической системе земснаряда волн ударного давления, которые в последующем через систему сопловых насадок подаются на слой разрабатываемого грунта. Общая схема системы гидроразмыва показана на рисунке 1.

За счет работы периодически открываемых клапанов в системе могут возникать гидравлические ударные волны, которые по отдельным гидравлическим линиям подаются на поверхность размываемого слоя грунта. Попеременно чередующиеся волны ударного давления, которые на рис. 1 обозначены как «+» и «-» создаются за счет очень быстрого закрытия или открытия клапанов при помощи набора коноидальных сопловых аппаратов. В разработанной системе гидравлического размыва должен возникать прямой гидравлический удар. При передаче силовой энергии для разрушения уплотненного поверхностного слоя грунта использовалась вода. В этом случае энергия волн ударного



давления преобразовывалась в процесс механического разрушения грунта без применения каких либо промежуточных механизмов, фрез, буров и т.п. При таком решении достигаются хорошие динамические характеристики процесса грунтобычи при малых габаритах системы размыва. За счет несжимаемости жидкости возможно обеспечивать практическое полное отсутствие запаздывания ударной волны в случаях изменения настройки гидравлической системы непосредственно в ходе работы судна.

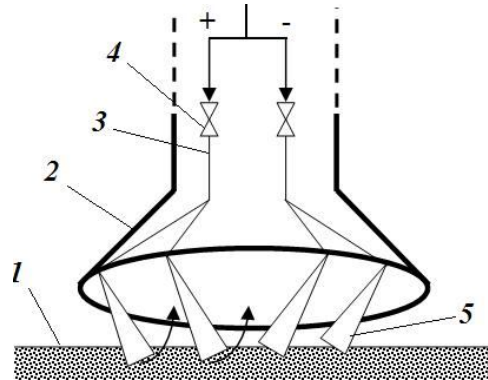


Рисунок 2 – Схема импульсной системы гидроразмыва грунта:

1 – грунт; 2 – грунтозаборник; 3 – линия подачи волн импульсного давления на сопловую насадку; 4 – запорно-регулирующая арматура; 5 – волна импульсного давления

В ходе исследований было установлено, что импульсная система гидроразмыва и особенно диаметр ее сопловых насадок должен определяться производительностью земснаряда. Стартовое ударное давление, развиваемое системой размыва грунта, должно соответствовать данным о величине нормативного давления на грунтовые основания. В ходе экспериментов установлено, что максимальное нормативное давление для песчаных и илистых грунтов лежит в диапазоне 4,5-9 МПа. При исследованиях был определен оптимальный рабочий диапазон углов падения струи на поверхность грунта. Он соответствует углам $5-37^{\circ}$.

Поскольку система гидроразмыва подразумевает эксплуатацию гидравлических линий в режиме повышенного давления необходимо для обеспечения ее герметичности в местах стыков и соединений величину максимального давления принимать на 15 % больше величины ударного давления.

Специфической особенностью эксплуатации всасывающей грунтозаборной трубы земснарядов является переменность состава жидкой пульпы. При пространственно криволинейной форме грунтопровода поток жидкости нагружает его, как статическими (при стационарном потоке жидкости), так и динамическими (при нестационарном потоке) силами. Жидкость, движущаяся с частицами грунта имеет случайную и переменную массу, приходящуюся на единицу длины трубы. Состояние равновесия в таком грунтопроводе при эксплуатации никогда не достигается. Аналогичная проблема характерна для всех как надводных, так и подводных рефулерных грунтопроводов. В этом случае необходимо производить расчеты с учетом присоединенной массы жидкости.

В ходе теоретических исследований была разработана методика расчета системы гидроразмыва. Она основана на гидравлическом расчете сопловых насадок в совокупности с параметрами гидроудара и характеристикой используемой гидравлической сети. Главным в таком расчете является определение площади выпускных сечений при заданном расходе и давлении перед и за сопловыми насадками. В этом случае давление за сопловыми насадками можно принимать в первом приближении равным гидростатическому напору над точкой забора грунта. В случае, если у поверхности дна присутствует сильное течение то в зависимости от его направления необходимо к гидростатическому напору добавлять скоростной напор, рассчитываемый по формулам гидравлики открытых русел.



В первом приближении в зависимости от величины входного и выходного давлений диаметр сопла можно рассчитать с использованием стандартных формул для истечения несжимаемых жидкостей из насадков.

Массовый расход через сопло определяется как

$$Q_m = \varepsilon S_{\text{вых}} \sqrt{2g\rho(P - P_{\text{вых}})}, \quad (1)$$

где $S_{\text{вых}}$ – площадь выходного сечения сопла; ε – коэффициент расхода; P – давление потока на входе в сопло; $P_{\text{вых}}$ – абсолютное давление на выходе из сопла.

Из (1) легко получить необходимую площадь и соответственно диаметр

$$S_{\text{вых}} = \frac{Q_m}{\varepsilon \sqrt{2g\rho(P - P_{\text{вых}})}} = 0,226 \frac{Q_m}{\varepsilon \sqrt{\rho(P - P_{\text{вых}})}}. \quad (2)$$

Для обеспечения качественного размыва грунта при проведении дноуглубительных работ необходимо обеспечить безотрывное движение потока воды внутри сопловой насадки. В этом случае необходимо выдерживать зависимость угла конусности α от соотношения диаметров используемой сопловой насадки $(D_p/D)^2$.

Эти значения приведены в табл. 2, а схема насадки показана на рисунке 2.

Таблица 2 – Углы конусности α , обеспечивающие безотрывное течение воды в сопловой насадке

$(D_p/D)^2$	1,5	2	2,5	3	3,5	4
α	28°	22°	16°	12°	9°	6°

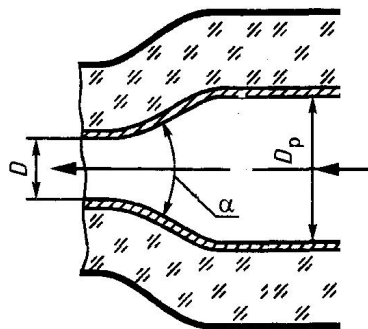


Рисунок 2 – Схема сопловой насадки

При практическом использовании сопловых насадок необходимо учитывать реактивную силу, возникающую при выходе струи. В общем виде она определяется как

$$F = \rho Q(V_2 - V_1) + P_2 S_2 - P_1 S_1, \quad (3)$$

где P_1 – избыточное давление на входе в суживающуюся часть насадка; P_2 – избыточное давление на выходе в суживающуюся часть насадка; V_1 – скорость на входе в насадок; V_2 – скорость на выходе из насадка; Q – расход жидкости на входе в насадок; S_1 и S_2 – площади поперечных сечений насадка на входе и выходе соответственно.

Анализ выражения (3) позволяет сделать вывод, что негативное влияние реактивного усилия, возникающего на сопловой насадке возможно устранять конструктивным способом. Так, если изменить форму насадка с зеркальным отображением то как видно из расчетного примера знак силы изменится на противоположный. В этом случае достигается положительный эффект притяжения системы гидроразмыва к зеркалу грунтовой пульпы. При этом суммарное усилие всей системы сложного трубопровода за счет преобразования динамического напора на обрабатываемый грунт будет только увеличиваться.



Выводы:

1. Механические и пневматические системы размыва грунта по такому технологическому показателю, как скорость изменения ударной нагрузки не могут быть сопоставимыми с гидравлическими системами размыва. Эти системы в отличие от гидравлической системы являются узкоспециализированными и могут эффективно применяться только при разработке определенных классов грунта.

2. Силовое взаимодействие потока со стенками трубопровода может приводить к возникновению нарастающих параметрических колебаний всей системы гидроразмыва.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Светлицкий В. А. Механика трубопроводов и шлангов / В. А. Светлицкий. – М. : Машиностроение, 1982. – 280 с.

2. Егоров И. Т. Искусственная кавитация / И. Т. Егоров, Ю. М. Садовников, И. И. Исаев, М. А. Басин. – Ленинград : Судостроение, 1971. – 280 с.

3. ГОСТ 8.586.5-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств.

4. Кондратьева Т. Ф. Предохранительные клапаны / Т. Ф. Кондратьева. – Л. : Машиностроение, 1976. – 232 с.

5. Темный В. П. Гидравлические регуляторы / В. П. Темный. – М.-Л. : Энергия, 1966. – 144 с.

Колегаєв М.О., Зуєв С.В., Маслов І.З., Малахов О.В., Бендебєря Ф.А., Маслов В.О.
ВИКОРИСТАННЯ ХВИЛЬ УДАРНОГО ТИСКУ В СУДНОВИХ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМАХ

У статті описана розроблена технологія підвищення продуктивності земснаряду за рахунок використання хвиль ударного тиску в гідравлічній системі розмиву ґрунту. Розглянуто питання щодо експлуатації гнучких трубопроводів і конічних струминних апаратів.

Ключові слова: земснаряд, гідравлічний удар, гнучкий трубопровід, реактивна сила, технологія розмиву ґрунту.

Kolegaev M.A., Zuev S.V., Maslov I.Z., Malahov A.V., Bendeberya F.A., Maslov V.A.
USE OF SHOCK PRESSURE WAVES IN SHIP HYDRAULIC SYSTEMS

Technology for increasing dredger productivity by using shock pressure waves in the hydraulic system for soil washout is presented. The issues concerning operation of flexible pipes and jet-cone tubes are considered.

Keywords: dredger, water hammer, flexible pipeline, jet force, technology for soil washout.



ПОХИБКИ ТЕРМОПАРИ МІДЬ-КОНСТАНТАН ЗУМОВЛЕНІ ТЕРМОУДАРАМИ

Мельничук М.Д.

Луцький національний технічний університет

У роботі досліджено вплив циклічної зміни температури під час нагріву до 400...800 К і охолодженні зі швидкістю 10^4 К/с до кімнатної температури на термо-ЕРС термоелектродних матеріалів мідь і константан, а також на стабільність показів термопар мідь – константан (ТМКн). Похибка вимірювання, зумовлена термоударами, представлена в залежності від вимірюваної температури і числа термоциклів, за температури вище 500°C вона може перевищувати допустимі значення, що вимагає переградуювання термопар ТМКн.

Ключові слова: термо-ЕРС, термопара, похибка вимірювань, термоудар.

Постановка проблеми. Для обліку і зменшення похибок, викликаних нестабільністю термо-ЕРС, тобто для підвищення точності вимірювання і регулювання температури за допомогою термопар, необхідне вивчення стабільності їхніх термоелектричних властивостей. Раніше вважали, що циклічна дія температур на термопару не призводить до зміни термоелектричних характеристик. Однак при зростанні вимог до точності вимірювання таких температур вивчення дестабілізації термо-ЕРС, викликаної термонавантаженнями, набуває актуальності.

Метою роботи є встановлення закономірностей впливу різкої зміни температури на електрофізичні властивості термоелектродних матеріалів міді і константану, та оцінка величини похибки термопар ТМКн, наведеної термоударами.

Термопара мідь-константан (ТМКн) – одна з найдавніших та поширених термопар для довготривалих вимірювань температури до 400°C в окисних та інертних середовищах, а також у вакуумі. Стандартизована СЕВ 1059-78 та МЕК 584-1.1977 як термопара «типу Т», має чутливість до $40\text{-}60$ мкВ/ $^\circ\text{C}$ в діапазоні $0\text{-}400^\circ\text{C}$. В Україні використовують аналог термопару мідь-копель для вимірювання мінусових температур, яка в області високих температур стандартизована тільки до 100°C , хоча за кордоном термопара М-Кн широко використовується для вимірювання високих температур і її градувальна характеристика нормована в області температур до 400°C .

Аналіз останніх досліджень. Відповідно до літературних даних недовіком термопар є висока чутливість до деформації і нестабільність в умовах реакторного опромінення, щодо термоциклічного впливу температури дані відсутні [1-2]. Необхідно відмітити, що інформація в літературі про вплив деформації на константан та мідь належить в основному іноземним авторам Бедфорду, Дофіне, Бейліску. Роботи по дослідженню вище згаданих термоелектродних матеріалів у вітчизняній літературі практично відсутній і є досить суперечливими. Зважаючи на те, що в Радянському Союзі використовували сплав копель, то зрозуміло, що константан був обділений увагою. Більше того, константан, який виготовляється на теренах колишнього Радянського Союзу близький, але не ідентичний, за хімічним складом до відповідного сплаву закордонних виробників, тому напрацювання закордонних науковців для нас є неактуальними.

Інтеграція вітчизняної економіки у світову вимагає від виробників продукції, що реалізовується за кордоном, і які мають міжнародні сертифікати, відслідковувати відповідність технологічного процесу міжнародним стандартам, тобто контролювати температурні режими термопарами, що мають міжнародну стандартизацію. Необхідно розвивати власне виробництво цих термопар і відповідно провести детальне та систематизоване дослідження впливу технологічних та експлуатаційних факторів на електрофізичні властивості термоелектродних матеріалів мідь та константан та стабільність термопар ТМКн.

Матеріали і методи досліджень. Для дослідження впливу термоцикування на електрофізичні властивості термоелектродів константану зразки діаметром $0,5$ мм і міді діаметром $0,2$ мм та довжиною 270 мм нагрівали струмом в спеціально сконструйованій установці (рис. 1) в середовищі аргону та на повітрі. Температуру нагріву встановлювали



за електроопором R зразка з врахуванням відомої залежності $R(t)$ з допомогою амперметра та вольтметра. Після досягнення температури нагріву 873 К зразок витримували 20 с з метою встановлення рівноважної концентрації дефектів, і в момент вимкнення струму, занурювали в охолоджуюче середовище. Загалом цикл «нагрів – охолодження» тривав 30 с.

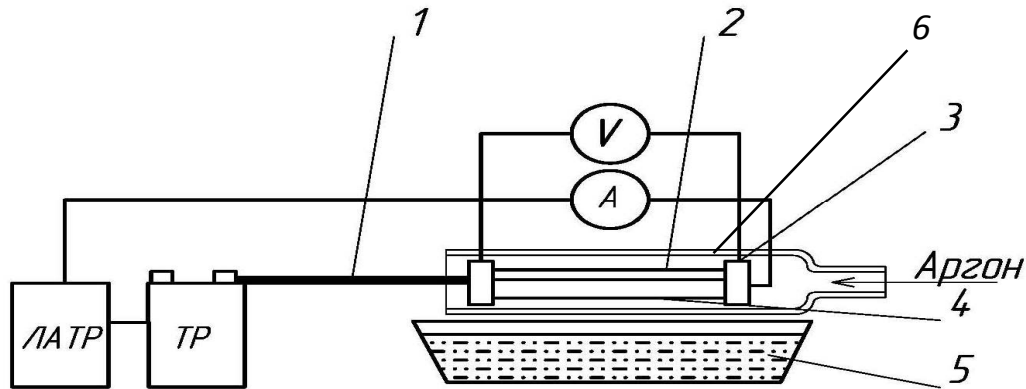


Рисунок 1 – Схема установки для проведення термоцикування:
1 – пружинний дріт; 2 – державка; 3 – клемма; 4 – 10-відсотковий розчин NaCl;
5 – термоелектродний дріт; 6 – скляна колба

В якості охолоджуючої рідини використовували 10-відсотковий розчин NaCl у воді. Швидкість охолодження в розчині NaCl оцінюється як 10^4 К/с, вона є достатньою для фіксації точкових дефектів за циклування зразків діаметром 0,5 мм. Крім того, у випадку охолодження термоелектродів у розчині NaCl мало місце відключення струму нагріву зразка в момент занурення його в розчин внаслідок замикання електричного струму на провідне середовище, що створювало сприятливі умови для різкого охолодження. Час охолодження зразка від температури нагріву 873 К до температури 293 К можна оцінити як 0,1 с. Кількість термоударів для міді та константану становила: 5, 10, 15, 20, 50.

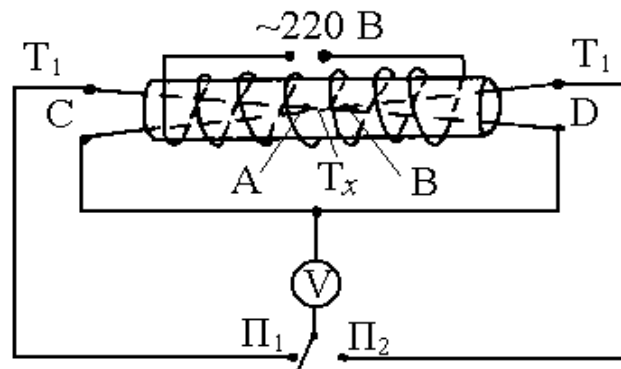


Рисунок 2 – Схема трубчастої градувальної печі

Термоцикування впливає на електрофізичні та механічні властивості сплавів. Хоча точкові дефекти існують в металах при будь-якій температурі вище абсолютного нуля, їх число в умовах рівноваги при кімнатній температурі дуже мале. Для вивчення особливостей поведінки дефектів і їх впливу на властивості металів необхідно отримати великі нерівноважні концентрації дефектів. Загартуванням від високих температур можна зафіксувати в зразку відповідну нерівноважну концентрацію дефектів [3].

Для вимірювання термо-ЕРС застосовували компенсаційну схему з високоомним потенціометром постійного струму типу ППТВ-1, як нуль-прилад використовувався дзеркальний гальванометр типу М17.



Для градування термопар застосовувалася трубчаста піч (рис. 2). Температура в робочому об'ємі печі вимірювалася за допомогою еталонної платиноводій-платинової термопари в діапазоні температур 273...873 К. Точність вимірювання температури не перевищувала 0,5 градуса.

Максимальна довжина досліджуваних зразків досягала 270 мм за діаметра 0,5мм, що істотно впливає на стабільність температури холодних кінців в процесі вимірювання. У зв'язку в цим в піч були вмонтовані подовжувальні дроти з тих же термоелектродів, що і досліджувані. Всередині печі кінці подовжувальних проводів мали затискачі, до яких під'єднувалися кінці досліджуваних термопар, а температура холодних кінців подовжувальних проводів підтримувалася 273 К за допомогою льодяного термостата.

Термо-ЕРС термоелектродних матеріалів: мідь, константан вимірювалася як при підвищенні, так і при зниженні температури через кожні 50 градусів в стаціонарному температурному режимі. Термо-ЕРС термопар «досліджуваний зразок – еталон» вимірювали при температурах гарячого спаю в діапазоні 273...873 К і холодних кінців подовжувального дроту 273 К.

До та після термоцикування зразки зважували на лабораторних аналітичних терезах з точністю до 0,0001 г.

Обговорення результатів. За різкого охолодження термоелектродного дроту зі швидкістю $10^3...10^4$ К/с фіксуються точкові дефекти (вакансії та їх комплекси), що призводить до зміни термо-ЕРС термопар. Рівноважна концентрація дефектів підтримується за рахунок динамічної рівноваги, при якій кількість дефектів, що виникають і зникають однакова.

У процесі циклування зразок приводять в рівноважний стан за високої температури T_q і потім швидко охолоджують до низької температури T_1 , щоб зберегти концентрацію дефектів.

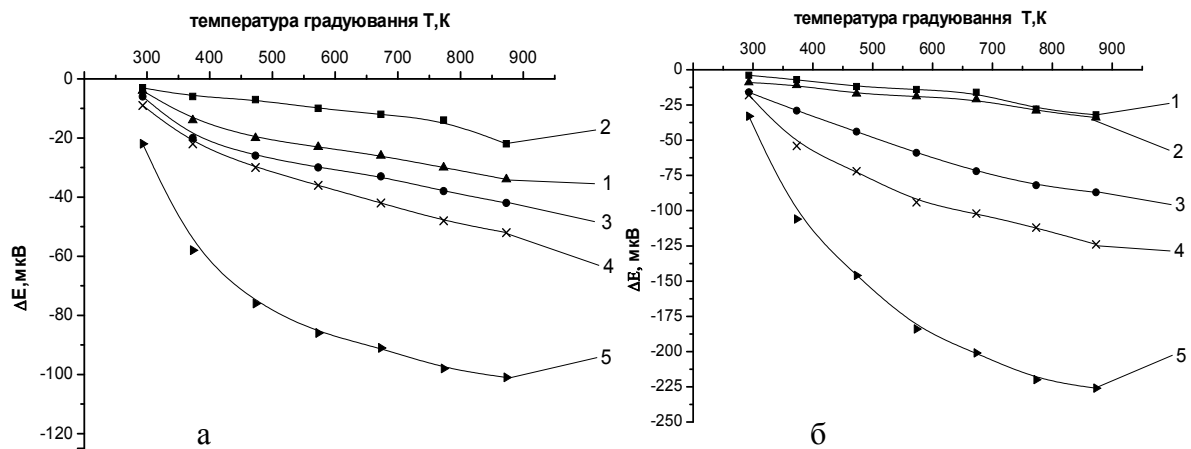


Рисунок 3 – Температурна залежність наведеної інтегральної термо-ЕРС константану в середовищі аргону (а) та на повітрі (б) від кількості циклів: 1 – 5 циклів; 2 – 10 циклів; 3 – 15 циклів; 4 – 20 циклів; 5 – 50 циклів

На рис. 3 наведено результати дослідження зміни термо-ЕРС константану, після термоцикування відповідно в середовищі аргону та на повітрі. В обох випадках спостерігаються електронегативні відхилення інтегральної термо-ЕРС.

Можна відзначити, що циклування на повітрі зумовлює відхилення у двічі більші, що пов'язано з інтенсивним окисненням термоелектродів та утворенням в поверхневих шарах мікротріщин. Спостерігається практично лінійна залежність $\Delta E(T_{\text{вим}})$ зі збільшенням кількості термоударів.

Причому за невеликої кількості 5 термоударів відбувається більш інтенсивне зменшення термо-ЕРС, зі зростанням термоударів до 10, має місце часткова стабілізація, а далі – відбувається збільшення відхилень у від'ємному напрямку.

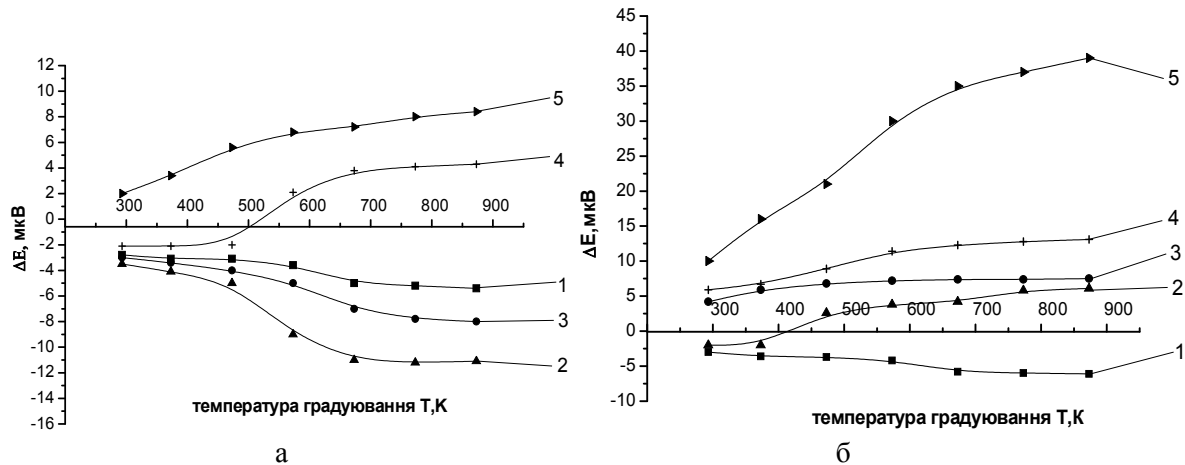


Рисунок 4 – Температурна залежність наведеної інтегральної термо-ЕРС міді в середовищі аргону (а) та на повітрі (б) від кількості циклів: 1 – 5 циклів; 2 – 10 циклів; 3 – 15 циклів; 4 – 20 циклів; 5 – 50 циклів

Такий характер залежностей можна пояснити наступним чином: за перших термоударів інтенсивно зростає кількість структурних дефектів, зокрема вакансій – енергія активації яких менша від міжвузлових атомів. Далі з накопиченням певної кількості вакансій відбувається часткова їх анігіляція. Отже, дефекти призводять до розсіювання фононів і зменшення термо-ЕРС фононного захоплення ($S_{\text{фон}}$) за рахунок зменшення відношення числа електрон-фононних зіткнень до загального числа зіткнень фононів. Позитивний вклад в $S_{\text{фон}}$ очевидно пов'язаний зі спотворенням поверхні Фермі і зміною її положення відносно зони Бріллюена, що у свою чергу змінює співвідношення між нормальними N- та U-процесами та підвищує $S_{\text{фон}}$. [3].

На рис. 4а представлена температурна залежність наведеної інтегральної термо-ЕРС міді від кількості термоциклів у середовищі аргону. Отримані результати вказують на те, що для міді внаслідок термоударів максимальне нагромадження дефектів спостерігається при 10 циклах, відомо, також що вакансії знижують термо-ЕРС [4] і збільшують електроопір. Зі збільшенням термоударів відбувається відпал термоелектродів діаметром 0,2 мм, що зумовлює зменшення відхилень крива 4, далі спостерігається приріст термо-ЕРС за рахунок збільшення розміру зерен та окислення поверхні в процесі нагріву.

Результати дослідження зміни інтегральної термо-ЕРС міді викликані термоударами з нагрівом на повітрі показано на рис. 4б. Аналогічно як і для дроту, циклованого в середовищі аргону спостерігаються за незначної кількості термоциклів електронегативні відхилення близько 10 мкВ.

На основі отриманих даних зміни термо-ЕРС термоелектродів міді та константану після термоцикування, з урахуванням чутливості термопари мідь-константан [5], що становить 39-62 мкВ/°С в інтервалі 0...400°С, проведено оцінку відхилень у показках термопари від номінальної градуовальної характеристики, результати представлено на рис. 5.

Зі збільшенням кількості циклів відбувається практично лінійний приріст термо-ЕРС, який пов'язаний з вигорянням термоелектроду, що підтверджується втратою маси.

Під час нагріву енергетично вигідне утворення комплексів і навіть мікропор, які мають більшу стійкість до нагріву за моновакансії, а це призводить до незворотних змін термоелектродного матеріалу, і, відповідно, зумовлює похибку у показках термопари під час експлуатації в умовах різкої зміни температур.

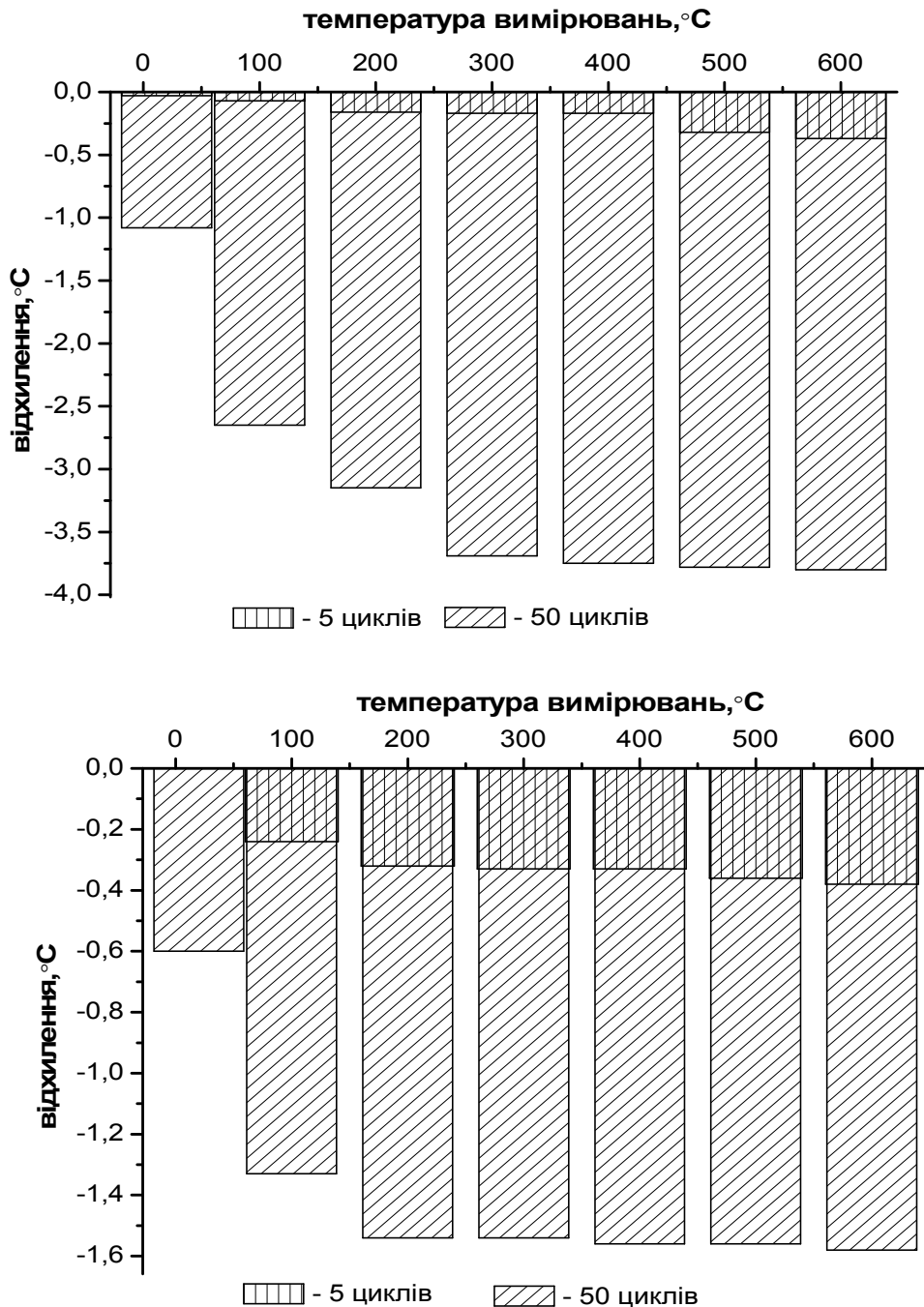


Рисунок 5 – Відхилення в показах термопарі М-Кн після термоцикування на повітрі (а) та в аргоні (б)

Висновки. Термоцикування (до 50 циклів) спричиняє відхилення у показах термопарі ТМКн за нагріву в інертному середовищі аргону до $-1,6^{\circ}\text{C}$, що становить близько 1% від вимірюваної температури. Похибка у показах термопарі за нагріву на повітрі складає до -4°C , тобто близько 1,5%, що зумовлено інтенсивним окисненням електродів. Отже, величина похибки термопарі ТМКн термоцикуваної в інертному середовищі, знаходиться в межах допустимої стандартом ДСТУ 2837-94 для 2-го класу. Відповідно таку термопару варто стандартизувати та сертифікувати в Україні.

Отримані результати стануть в нагоді для врахування впливу термоцикування при експлуатації термопар ТМКн в умовах, де має місце циклічна зміна температури.

Для встановлення залежності отриманих результатів у лабораторних умовах до



реальних умов експлуатації та розробки практичних рекомендацій, щодо періодичності переградування термопари ТМКн необхідне проведення додаткових досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вимірювання температурні: теорія та практика / Я. Т. Луцик, О. П. Гук, О. І. Лах, Б. І. Стадник. – Львів : Бескид Біт, 2006. – 560 с.
2. Бедфорд Р. Измерение температуры / [Р. Бедфорд, Т. Дофине, Х. Престон-Томас]; под. ред. Ф. Вейнберга. – М. : Мир, 1973, вып. I. – С. 9-131.
3. Mattheiss L. E. Fermi Surface in Tungsten / L. E. Mattheiss – Phys. Rev., 1965. – Vol. 139. – P. A 1893-A 1904.
4. Temperature. Its Measurement and Control in Science and Industry. V. 3. Part 2. – N.-Y. : Reinhold Pub, 1982. – P. 1-294.
5. ДСТУ 2837-94 (ГОСТ 3044-94). Преобразователи термоэлектрические. Номинальные статические характеристики преобразования. – К. : Держстандарт України, 1995. – 38 с.

Мельничук Н. ПОГРЕШНОСТИ ТЕРМОПАРЫ МЕДЬ-КОНСТАНТАН ВЫЗВАННЫЕ ТЕРМОУДАРАМИ

Важны проведения исследований по повышению контролируемости эксплуатируемых технических объектов, в частности атомных электростанций (особенно ввиду неоднократных взрывов в области реакторных залов Японии, вероятность которых возросла также и ввиду того, что был понижен уровень контроля системы аппаратного обслуживания реакторов, в том числе и в результате аварийных термоударов термоэлектродных проводов). В работе исследовано влияние циклического изменения температуры при нагревании до 400...800 К и охлаждении со скоростью 10^4 К/с до комнатной температуры на термоэдс термоэлектродных материалов медь и константан, а также на стабильность показаний термопары медь - константан (ТМКн).

Представлены зависимости отклонений термоэдс термоэлектродов от количества циклов в среде (аргон, воздух) при градуировке в диапазоне 293...800 К. Согласно результатам более чувствительными к термоциклированию (нагрев в аргоне 50 циклов) является сплав константана (-100 мкВ) для меди наблюдается сложный характер зависимостей: до 15 циклов зафиксированы электроотрицательные отклонения, с увеличением до 50 циклов переходят в электроположительные (12 мкВ). Термоциклирование электродов на воздухе вызывает отклонение термоэдс в 2-4 раза больше, чем после нагрева в аргоне.

Показано, что термоциклирование (50 циклов, нагрев в аргоне) приведет к погрешности в показаниях ТМК на минус 1,6 °С, аналогичное количество циклов за нагрева на воздухе изменит показания ТМК относительно НСХ на минус 4 °С.

Ключевые слова: термоэдс, термопара, погрешность измерений, термоциклирование.

Melnuchyk N. THE ERRORS OF COPPER-CONSTANTAN THERMOCOUPLE CAUSED BY THERMO IMPACTS

Investigations on improving the controllability of the operating engineering units, nuclear power plants in particular, have become of great importance especially after the repeated explosions in the reactor halls in Japan, which are likely to be caused by the decrease of the reactors hardware maintenance system control, thermoshock damages in the thermo-electrode wires in particular.

The effect of cyclic temperature changes on thermal electromotive of the thermocouple materials copper and constantan (TCC), as well as on the stability of thermocouple copper – constantan when heated to 400 ... 800 K and cooled at a rate 10^4 K/s to the room temperature is investigated.

The dependencies of the deviations of thermal electromotive force of the thermal electrodes on the number of cycles in the environment (argon, air) during calibration in the range of 293 ... 800 K are presented. According to the results, an alloy constantan (-100 mV) is more sensitive to thermal cycling (heating in argon 50 cycles), for pure copper complex dependencies are observed: up to 20 cycles electronegative deviations that with the increase to 50 cycles are transformed into electropositive (+12 mV), are recorded. Thermal cycling of thermal electrodes in the air causes deviation of thermal electromotive force in 2 – 4 times higher than after heating in argon.

It is shown that thermal cycling (50 cycles, heating in argon) will cause the deviation of copper – constantan values in minus 1,6° C, similar number of cycles while heating in the air will change copper – constantan values relatively NSC in minus 4° C.

Keywords: thermo-electro-motive power (thermo-EMP), thermocouple, measurement error, thermocycling.



ПОВЫШЕНИЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И АДГЕЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТЫКОВ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛАВСООРУЖЕНИЙ

Мишутин А.В., Шинкевич Е.С., Тертычный А.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Постановка проблемы в общем виде. Одним из уязвимых элементов сборно-монолитных железобетонных плавсооружений являются стыки. По Лисканову А. А. [1] надёжность и долговечность стыков обеспечивается их собственной водонепроницаемостью и в не меньшей – адгезионными свойствами.

Полученные Мишутиним А. В. [2] для гидротехнических и плавучих сооружений зависимости практически соответствуют общим вариантам изменения функционального состояния бетона по адаптивной теории Чернявского В. Л. [3] можно сделать вывод, что для конструкций плавсооружений, испытывающего напорное действие, долговечность определяется водонепроницаемостью, для надводных же частей сооружений – морозостойкостью бетона.

В работах Бабушкина В. И. [4, 5] и Горчакова Г. И. [6] долговечностью называется свойство объекта сохранять работоспособность до наступления граничного состояния при установленной системе технического обслуживания и контроля. По Штарку И. [7] под долговечностью понимается, что строительные элементы из бетона при достаточном уходе в течении предусмотренного срока службы устойчивы ко всем воздействиям.

По определению Ратинова В. Б. и Добролюбова Г. [8], долговечность в строительстве – это способность зданий и сооружений служить длительное время в реальных условиях воздействия внешней среды.

В ДСТУ-НБА.1.1.78.2007 [9] дается также определение: долговечность – это свойство на протяжении установленного или длительного времени не разрушаться или терять прочность. Согласно немецкому DIN 1045, долговечность наружных железобетонных строительных элементов означает, что в течении всего предусмотренного срока службы, арматурная сталь остается в защищенной от коррозии щелочной среде. Таким образом применительно к бетону, конструкциям и сооружениям, термин долговечность по Плугину А. А. можно рассматривать по разному [9]. По мнению Мишутина А. В. [2], обобщив все определения и исключив некоторые нечетко задаваемые понятия, долговечность материала можно охарактеризовать как способность сохранять свою основную конструктивную функцию на протяжении заданного срока в заданных условиях эксплуатации с учетом наиболее вероятных деструктивных воздействий среды.

Исходя из существующих методик следует, что принимаемая марка бетона по водонепроницаемости характеризуется своей относительной качественной стороной, а основным недостатком ГОСТов является отсутствие количественной связи между марками по водонепроницаемости и принятой в настоящее время многими НИИ абсолютной количественной характеристикой – коэффициентом фильтрации.

Для плавучих сооружений критическими являются любые, даже минимальные течи. Испытания бетонных образцов на водонепроницаемость недостаточно выявляют изменение структуры бетона во времени под воздействием фильтрующейся воды. Поэтому результаты этих испытаний не позволяют вскрыть действительный механизм фильтрации воды через бетон.

Анализ публикаций и последних достижений, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешённых ранее частей общей проблемы. Вопросы повышения прочности и адгезионной стойкости бетона рассматриваются во многих литературных источниках, например в книгах [2, 9, 19]. Анализ содержания указанных источников показывает, что данная проблема проработана ещё недостаточно полно.



Обобщая результаты многочисленных исследований в данной области были сделаны следующие выводы:

- наибольшее влияние на прочность адгезии оказывают условия ухода за бетоном;
- в условиях влажного хранения образцов прочность адгезии значительно выше, чем при нормальном хранении. Прочность на изгиб в условиях нормального хранения снижалась на 25% по сравнению с влажным хранением;
- прочность сцепления на срез давала снижение на 47%, составляя от монолита 40%. Такое снижение прочности является следствием резкого увеличения усадки бетона в условиях сухого хранения;
- влияние времени перерыва в бетонировании сказывается незначительно. Некоторое снижение прочности сцепления, порядка 12%, наблюдалось при семи сутках перерыва в бетонировании, по сравнению с 6-часовым перерывом.

Таким образом исследование вопросов повышения водонепроницаемости и адгезионной стойкости стыков сборно – монолитных железобетонных плавучих сооружений является весьма актуальной.

Формулирование целей статьи и постановка задачи. Цель статьи – исследование способов снижения пористости композита и проницаемости бетона для повышения адгезии при ремонте стыков.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. Для исследования прочности сцепления «старого» бетона с «новым» было поставлено несколько опытов. Изготавливалась серия бетонных образцов-кубов размером 10х10х10 см, эталонные образцы из монолитного бетона 10х10х10 см.

Из одного замеса были забетонированы образцы-кубы в металлических формах 10х10х10 см и эталонные образцы. Для прибетонирования использовался тот же состав бетона. Подвижность бетонной смеси составляла 17см.

Для изготовления указанных образцов металлические формы заполнялись бетонной смесью до половины своей высоты и вибрировались в течении 30 сек. на лабораторной виброплощадке. Распалубка эталонных образцов производилась в возрасте двух суток. Дальнейшее твердение изготовленных половинок образцов и их хранение осуществлялось в помещении с относительной влажностью воздуха 90% и температурой +20°C.

Для удаления цементной плёнки в возрасте бетона 28 дней верхняя поверхность указанных образцов обрабатывалась различными способами.

В работе проанализированы следующие способы удаления цементной плёнки:

- удаление цементной плёнки рулонными адсорбирующими материалами (поролон, ткань, мешковина);
- удаление цементной плёнки адгезионно-адсорбционными материалами (доски, металл, бетонные плиты);
- нанесение промежуточного слоя, препятствующего образованию цементной плёнки;
- укладка на поверхности бетонного стыка защитного покрытия, оставляемого в теле бетонного стыка и препятствующего образованию цементной плёнки.

Далее производилось прибетонирование второй половины образца и уплотнение бетона на виброплощадке в течении 30 сек.

После достижения прибетонированным слоем бетона и бетоном кубов-эталонных 28-дневного возраста образцы испытывались на раскалывание и водонепроницаемость по стыку и монолиту.

Результаты испытаний на растяжение методом раскалывания при различных способах подготовки шва образца приведены в табл. 1.



Испытание на раскалывание осуществлялось на прессе мощностью 15 т с помощью двух круглых металлических стержней диаметром 10 мм, которые были установлены вдоль стыка образца.

Для оценки качества стыка, подготовленного различными способами, принята прочность на раскалывание, выраженная в процентах по отношению к прочности эталона, т.е. образца, не имеющего шва того же состава, что и прибетонированная часть. Как видно из диаграмм на рисунке 1, наилучшие результаты по адгезии получены при использовании металлической щётки и раствора С-3.

Таблица 1 – Результаты испытания на раскалывание

Способ подготовки шва образца	Условия хранения	Разрушающая нагрузка при раскалывании, кг	Прочность на раскалывание по отношению к монолиту, %
Монолит (без шва)	Вода	2650	100,0
Без обработки (с цементной плёнкой)	Вода	965	22,0
Раствор С-3 и металлическая щётка	Вода	1595	53,0
Деревянная доска	–	4600	18,0

Сопоставление различных способов подготовки бетонных поверхностей по прочности на раскалывание шва-контакта приведено на рисунке 1.

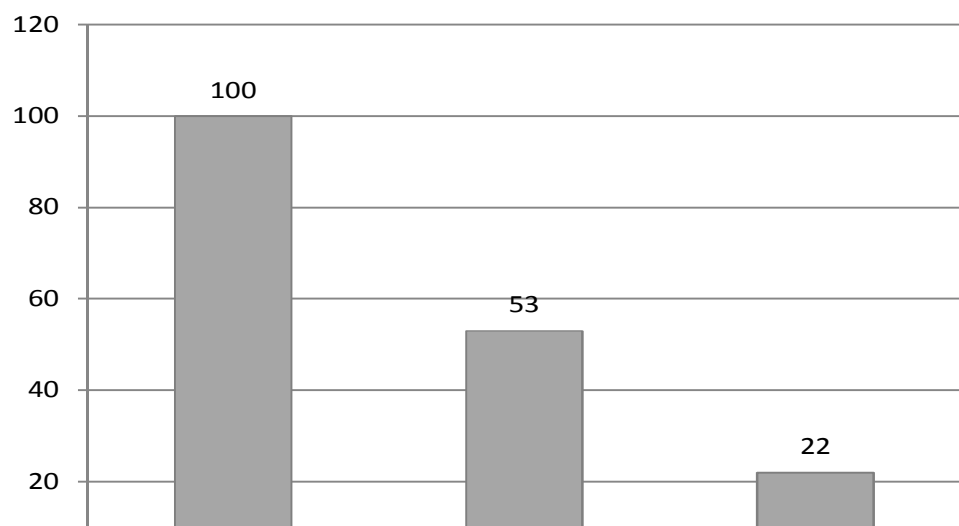


Рисунок 1 – Влияние способа подготовки бетонных поверхностей на прочность контакта

Повышение водонепроницаемости стыков. На втором этапе исследований осуществлялось испытание на водонепроницаемость по стыку путём повышения давления ступенями по 1 кг/см² через каждые 4 часа (ГОСТ 12730.5-84) Оценка качества стыка на водонепроницаемость производилась сравнением с эталоном.

Оценка водонепроницаемости по стыку проводилась по появлению тёмных пятен при давлениях воды 5,10,20 и 30 кг/см². Давление повышается ступенями по 5 кг/см² через каждые 4 часа.

Определение водонепроницаемости по монолиту проводилось по методу мокрого пятна (ГОСТ 12730.5-84), на образцах цилиндрах d=150 мм.

Результаты испытаний на водонепроницаемость показали, что бетон класса В35 непроницаем для воды при давлении 10 кг/см² по монолиту и по стыковому соединению, выполненному с насечкой и последующей промывкой водой, а также состав с нанесенным слоем эпоксидной смолы ЭД-5. Наибольшую прочность и водонепроницаемость по стыку имеют бетонные образцы, стык которых подвергался насечке с последующей промывкой



водой, а также стык, который подвергался насечке с последующим покрытием коллоидного клея.

Маркировка образцов, способы обработки приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Маркировка образцов, способы обработки

№ состава	Маркировка образца	Технология обработки поверхности образца перед бетонированием второго слоя	Прочность по стыку на растяжение, кг/см ²	Прочность по стыку на растяжение в % от монолита
1	МП	Монолит второго слоя бетона (эталонный образец)	30	100
2	МП1	Монолит первого слоя бетона (эталонный образец)	31,3	103
3	Н88	Насечка и один слой клея 88 за 15 минут перед бетонированием	3,7	12
4	88	Один слой клея 88 за 15 минут перед бетонированием	4,2	14
5	НС	Насечка, один слой эпоксидной смолы ЭД-5, через 3 часа бетонирование	5,7	29
6	С	Один слой эпоксидной смолы ЭД-5, через 3 часа бетонирование	2,9	20
7	НД	Насечка и два слоя клея ДОННИ через каждые 10 минут	11,9	53
8	Д	Два слоя клея ДОННИ через каждые 10 минут	9,6	32
9	Н+КК	Насечка и за 15 минут перед бетонированием один слой коллоидного клея	19,8	53

При определении водонепроницаемости по стыку бетонных образцов толщиной 30, 50 и 100 см были использованы следующие два способа обработки стыка: насечка с последующей промывкой водой и насечка с последующим покрытием эпоксидной смолой ЭД-5.

Вторые половинки образцов высотой 50 и 100 см бетонировались также бетоном класса В40. Образцы изготавливались в металлических формах диаметром 150 мм.

Внешний вид образцов после заполнения бетоном половины металлической формы обозначен на рисунке 2.

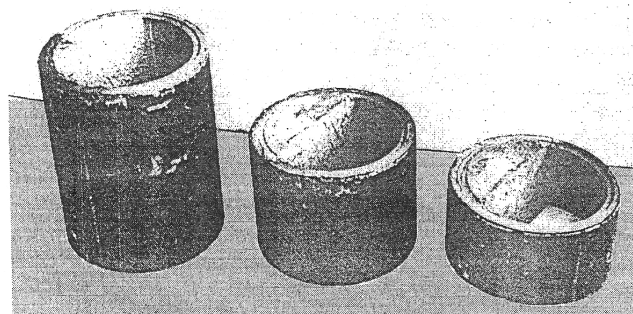


Рисунок 2 – Изготовление образцов-дисков для последующего испытания на водонепроницаемость швов



Влияние структуры на водонепроницаемость бетонов. Способы регулирования. Основным структурным показателем, обеспечивающим долговечность судостроительных бетонов, является их пористость. В структуре бетона сочетаются тонкодисперсная часть (гелевая составляющая цементного камня) и крупные поры с размером сечений в десятые доли миллиметра и более [14]. Крупные поры и каналы обладают во много раз более высокой проницаемостью. Таким образом, основным структурным показателем, определяющим проницаемость и морозостойкость бетона, можно считать размер пор [15]. Однако существует взаимосвязь между общей величиной пористости, показателями проницаемости и морозостойкости бетона [9,11].

Исследовалась величина открытой пористости материала по величине максимального водопоглощения (ДСТУ Б В.2.7-51-96, ГОСТ 10060-95). По ЭС-модели, описывающей влияние количества портландцемента, добавок С-3 и Пенетрона А на открытую пористость материала (% по объёму), построены диаграммы, которые показаны на рисунке. На рисунке 3 показано влияние количества цемента и Пенетрона А (при зафиксированном содержании С-3 в количестве 0.8%).

Как видно из диаграмм, наименьшую пористость имеют составы с количеством цемента около 750 кг/м^3 и с максимальным содержанием модификатора Пенетрон А. Однако следует отметить, что введение добавки Пенетрон А снижает открытую пористость материала не более чем на 7-8%. Таким образом, можно предположить, что действие добавки складывается не только в коагуляции (заполнении трещины и пор), но и в перераспределении формы и размеров пор и «лечении» трещин и капилляров. То есть в снижении преимущественно не общей, а «эффективной» пористости [19].

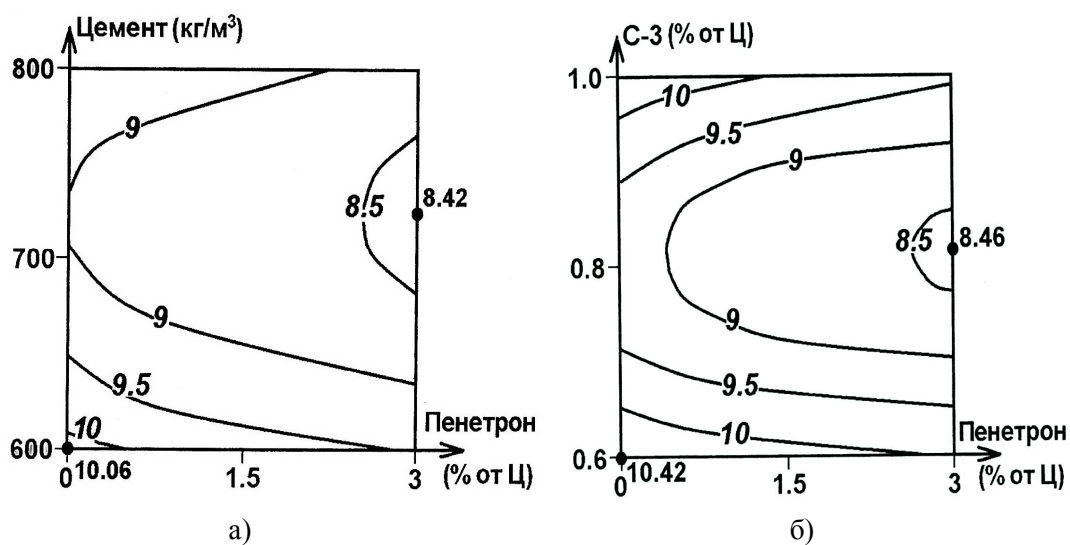


Рисунок 3 – а) влияние количества портландцемента и Пенетрона А на открытую пористость бетона (% по объёму); б) влияние количества С-3 и Пенетрона А на открытую пористость бетона (% по объёму)

На рисунке 3 показано влияние количества Пенетрона А и суперпластификатора С-3 на открытую пористость (для состава со средним количеством цемента, 600 кг/м^3). Анализ данной диаграммы позволяет заключить, что за счёт оптимального введения С-3 (0.8.-0.82%) возможно снизить пористость композита из смесей равной подвижности на 12-15%. Это объясняется тем, что составы с таким дозированием суперпластификатора имели самый низкий уровень В/Ц и, соответственно, самую плотную структуру.

Введение в состав композита 3% Пенетрона А снижает открытую пористость на 1-2% по объёму, что составляет 10-12% от общей пористости. Этот факт также подтверждает предположение, что действие добавки складывается не только в коагуляции пор, но и в перераспределении их формы, размеров и «лечении» трещин и капилляров, то есть в снижении «эффективной пористости». Этот вывод совпадает с



данными о механизме снижения проницаемости бетона, который обоснован во многих исследованиях [7, 11, 12]. Зерновой состав песка существенно влияет на пористость материала: композиты из мелкого песка имеют открытую пористость на 50-55% выше, чем композиты из крупного песка или смесей песков с преобладанием крупного.

Показано, что водонепроницаемость бетонов также зависит от зернового состава песка и содержания добавки Пенетрон А.

Водонепроницаемость бетонов из песка с модулем крупности около двух повышается при введении 3% Пенетрона более чем в два раза. Это можно признать весьма важным фактором, учитывая преобладание в Украине месторождений мелкого песка.

Анализируя влияние зернового состава песка, можно сказать, что бетоны, не модифицированные Пенетроном на мелком заполнителе, имеют уровень водонепроницаемости в 2-2.5. раза ниже, чем бетоны на крупном заполнителе. Но для составов с максимальным дозированием Пенетрона менее чувствуется влияние вида песка – уровень W изменяется в зависимости от заполнителя не более чем в 1.5. раза. Максимальную же водонепроницаемость имеют составы бетонов из смеси песков, в которых соотношение мелкого и крупного песка находится на уровне около 1/6. Это объясняется тем, что подобные составы имеют самую плотную структуру за счёт оптимальной упаковки зёрен заполнителя. Таким образом, подобные составы рекомендуются для производства и восстановления бетонных конструкций плавучих сооружений.

Далее проведены исследования по влиянию зернового состава песка и количества Пенетрона А на структуру.

Это объясняется высоким уровнем В/Ц высокоподвижных смесей при использовании мелкого песка. Также важно отметить, что минимальную пористость имеют составы, аналогичные тем, которые показывали максимальные значения водонепроницаемости и морозостойкости: с соотношением мелкого и крупного песка около 1/6. Как отмечалось выше, это объясняется соотношением песков при котором достигается самая плотная упаковка зёрен заполнителя.

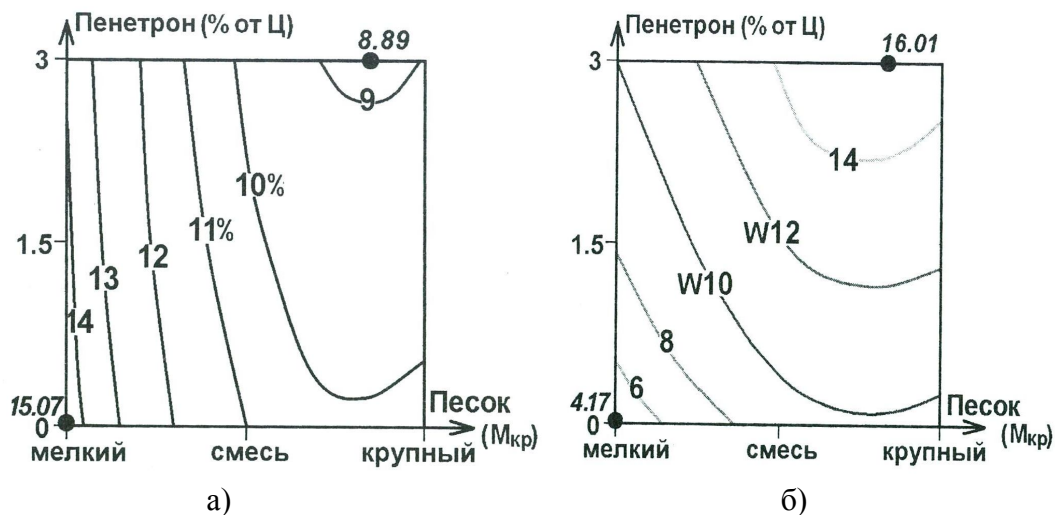


Рисунок 4 – а) влияние зернового состава песка и количества Пенетрона А на открытую пористость бетона (% по объёму); б) влияние зернового состава песка и количества Пенетрона А на водонепроницаемость бетона (10^5 Па)

Выводы и предложения. Наиболее эффективным методом повышения адгезии является увеличение площади сцепления между «старым» и «новым» бетоном за счёт снятия цементной плёнки металлическими щётками и промывки поверхности «старого» бетона. Так применение раствора С-3 и металлической щётки позволяет достичь 53% прочности шва от прочности монолитного бетона.

Показано, что водонепроницаемость стыка также улучшается после нанесения на поверхность насечек, промывки водой с последующим нанесением коллоидного клея.



Так, прочность по стыку на растяжение такого шва составляет 56% от монолита.

Проанализировано влияние структуры и состава бетонной смеси на водонепроницаемость. Способы регулирования.

Основной структурной характеристикой является открытая пористость. Величину открытой пористости можно регулировать с помощью кольматирующей добавки Пенетрон А и С-3. Так кольматирующая добавка Пенетрон А снижает открытую пористость на 7-8%. Эта добавка способствует кольматации, перераспределению размеров пор и «залечиванию» трещин и капилляров.

Проанализировано влияние зернового состава песка и количества Пенетрона А на водонепроницаемость и открытую пористость. Показано, что за счёт применения комплексного модификатора, включающего кольматирующую добавку Пенетрон А и суперпластификатор, общая величина открытой пористости бетонов снижается на 15-20%, а водонепроницаемость увеличивается в 1.5. – 10 раз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисканов А. А. Как повысить водонепроницаемость сборных элементов оросительных каналов / А. А. Лисканов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2000. – № 6. – С. 23-25.
2. Мишутин А. В. Повышение долговечности и водонепроницаемости стыков сборно-монолитных железобетонных конструкций / А. В. Мишутин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Випуск № 2. – Одеса : Місто майстрів, 2000. – С. 115-123.
3. Чернявский В. Л. Адаптация бетона / В. Л. Чернявский – Днепропетровск : Нова ідеологія, 2002. – 216 с.
4. Бабушкин В. И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона / В. И. Бабушкин. – М. : стройиздат, 1968. – 187с.
5. Бабушкин В. И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа / В. И. Бабушкин. – Харьков : Вища школа, 1989. – 168 с.
6. Горчаков Г. И. Основы стандартизации и управления качеством продукции промышленности строительных материалов / Г. И. Горчаков, Э. Г. Муратов. – М. : Высшая школа, 1987. – 333 с.
7. Штарк И. Долговечность бетона / И. Штарк, Б. Вихт. Перев. с нем. ; А. Тулаганова, под ред. П. Кривенко. – К. : Оранта, 2004. – 311 с.
8. Добролюбов Г. Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г. Добролюбов, В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. – М. : Мтройиздат, 1983. – 212с.
9. ДСТУ-Н. 1.1.-78.2007 «Настанова. Долговічність за директивою стосовно будівельних виробів».
10. Плугин А. А. Долговечность бетона и железобетона в обводнённых сооружениях : коллоидно-химические основы. Дис. на соискание уч. степени д.т.н. по спец 05.23.05 / Плугин Андрей Аркадиевич. – Харьков, 2005. – 426 с.
11. Пшінько О. М. Підводне бетонування та ремонт штучних споруд / О. М. Пшінько. – Дніпропетровськ : Пороги, 2000. – 411 с.
12. Бетоны для постройки морских сооружений // Технология судостроения. – 1991. – № 1. – С. 42-43.
13. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев – М. : Стройиздат, 1980. – 535 с.
14. Мазур В. М. О влиянии структуры бетона на его морозостойкость при низких отрицательных температурах. Структура прочность и деформации бетонов / В. М. Мазур. – М. : Стройиздат, 1966. – С. 204-210.
15. Мишутин А. В. Исследование структурных характеристик модифицированных бетонов / А. В. Мишутин, Н. В. Мишутин // Вісник Одеського національного морського університету. – 2003. – № 10. – С. 221-225.



16. Мишутин А. В. Структура – основа долговечности бетона / А. В. Мишутин, Н. В. Мишутин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Випуск 17. – Одеса : ОДАБА, 2005. – С. 279-286.
17. Шейкин А. Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня / А. Е. Шейкин. – М. : Стройиздат, 1974. – 191 с.
18. Шейкин А. Е. Структура и свойства цементных бетонов / А. Е. Шейкин, Ю. В. Чеховский, М. И. Бруссер. – М. : Стройиздат, 1979. – 344с.
19. Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений / А. В. Мишутин, Н. В. Мишутин // Одесская гос. академия строительства и архитектуры. – Одесса : Эвен, 2011. – 292 с.

Мішутін А.В., Шинкевич Є.С., Тертичний А.А. ПІДВИЩЕННЯ ВОДОНЕПРОНИКНОСТІ І АДГЕЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ СТИКІВ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛАВСПОРУД

У роботі авторів показано, що найбільш ефективним методом підвищення адгезії є збільшення площі зчеплення між «старим» та «новим» бетоном за рахунок нанесення насічок на поверхні «старого» бетону. У роботі констатується, що результати досліджень показали найбільшу міцність на водонепроникність вздовж стику тих бетонних зразків, стик яких піддавався насічці з промиванням водою, потім покривався епоксидною смолою ЕД-5 і активувався сумішами. З роботи видно, як за рахунок запропонованих авторами технологічних методів отримані необхідні результати застосування спеціальних поліфункціональних комплексних модифікаторів, що включають суперпластифікатор, кольматуючу домішку і наповнювачі. Такий модифікатор при застосуванні раціональної кількості домішок і наповнювачів покращує комплекс фізико-механічних характеристик, які забезпечують високу водонепроникність і довговічність бетону.

Ключові слова: адгезія, водонепроникність стику, цементна плівка, зворотня пористість, насічки, суперпластифікатор.

Mishutin A.V. Shinkevich E.S., Tertychnyi A.A. THE WATER RESISTANCE AND ADHESION RESISTANCE IMPROVEMENT OF THE JUNCTIONS OF PRECAST AND CAST-IN-SITU FERROCONCRETE FLOATING CONSTRUCTIONS

In this paper the authors show that the most effective method of improving the adhesion is to increase the area of engagement between "old" and "new" concrete by applying notches on the surface of the "old" concrete.

The paper states that tests have shown the greatest strength for water resistance on the junction of those concrete samples where junction was notched up with running water, and then covered with epoxy resin ED-5 and activated by mixtures.

The paper evidences that due to technological methods proposed by the authors the necessary results were obtained on the usage of special multifunctional complex modifiers, including super plasticizer, bridging supplements and fillers. This modifier when applying rational amounts of additives and fillers improves the range of physical and mechanical characteristics that provide high water resistance and durability of concrete.

Keywords: adhesion, water resistance of the junction, the cement film, reverse porosity, notch, super plasticizer.



УДК 629.12.06

ЕКСПЕРТИЗА ВІДМОВИ МУФТИ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ СУДНОВОЇ ГІДРАВЛІЧНОЇ РУЛЬОВОЇ МАШИНИ

Проценко В.О.

Херсонська державна морська академія

У статті виконана експертиза відмови муфти насосного агрегату муфти рульової машини. Розкрито механізм руйнування пружної зірочки муфти та встановлено його причини. Запропоновано заходи підвищення безвідмовності насосного агрегату.

Ключові слова: рульова машина, насосний агрегат, відмова, муфта.

Вступ. Сьогодні транспортні судна складають основу морського й річкового флоту – близько 90% загального тоннажу. Рульова машина є одним із основних допоміжних механізмів транспортного судна, оскільки вона забезпечує його керованість і безпеку плавання. Абсолютна більшість рульових машин сучасних суден виконані гідрофікованими із поворотом балера лопатевим гідромотором або гідроциліндрами. Джерелом енергії для гідроприводу рульових машин є насосний агрегат у складі трьох основних ланок: електродвигуна, сполученого з ним гідронасоса, найчастіше аксіально-плунжерного типу та з'єднувальної пружно-компенсуючої муфти. Відмова будь-якої з трьох із названих ланок насосного агрегату може призвести до відмови рульової машини, аварії судна в цілому та навіть катастрофи [1]. З огляду на це, забезпечення безвідмовності суднових рульових машин та їх агрегатів є актуальною задачею в сучасних умовах.

Постановка задач. На одному з універсальних транспортних суден закордонної компанії мала місце відмова насосного агрегату гідравлічної рульової машини MSE-2Z-SL400/45-K фірми «Mariner» з поршневыми гідроциліндрами (рис. 1), що розвиває момент на балері 800 кНм.

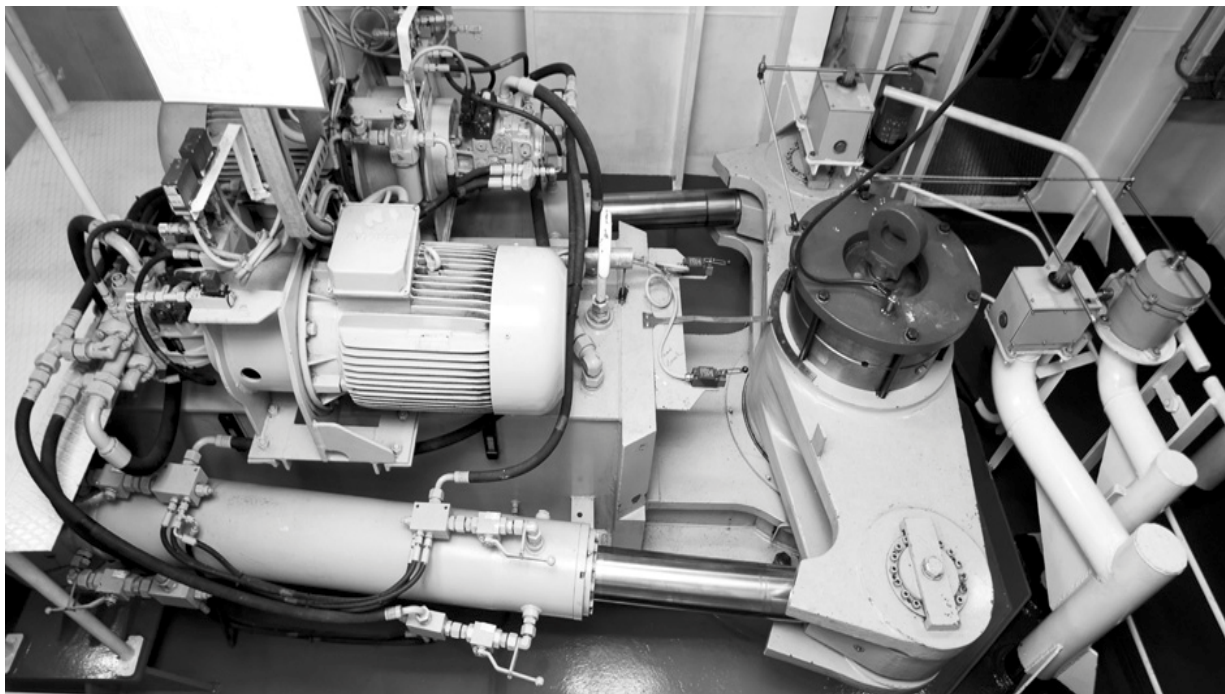


Рисунок 1 – Загальний вид рульової машини MSE-2Z-SL 400/45-K

Насосний агрегат машини містить електродвигун потужністю $N = 49$ кВт при частоті обертання $n = 1750$ хв⁻¹. Електродвигун сполучений з аксіально-плунжерним гідронасосом, що розвиває тиск до 22 МПа, муфтою з пружною зірочкою. Муфта ROTEX 65 GJL фірми KTR складається з двох однакових чавунних напівмуфт із торцевими виступами-кулачками між якими своїми вісьмома зубцями-пелюстками



($z = 8$) встановлений пружний елемент у вигляді зірочки із поліуретану T-PUR твердістю 85...90 одиниць за Шором. Зовнішній діаметр пелюсток пружної зірочки $D = 135$ мм, внутрішній діаметр $d = 75$ мм, ширина $b = 26$ мм.

Відмова насосного агрегату виникла через руйнування пружної зірочки та викликала необхідність введення в роботу резервного агрегату. Руйнування пружної зірочки мало характер оплавлення поверхонь чотирьох робочих пелюсток (при обертанні в кожному напрямку працює половина з них) (рис. 2). *Задачами даної роботи є встановлення причин, розкриття механізму руйнування пружного елемента муфти та розробка заходів щодо підвищення безвідмовності насосного агрегату.*

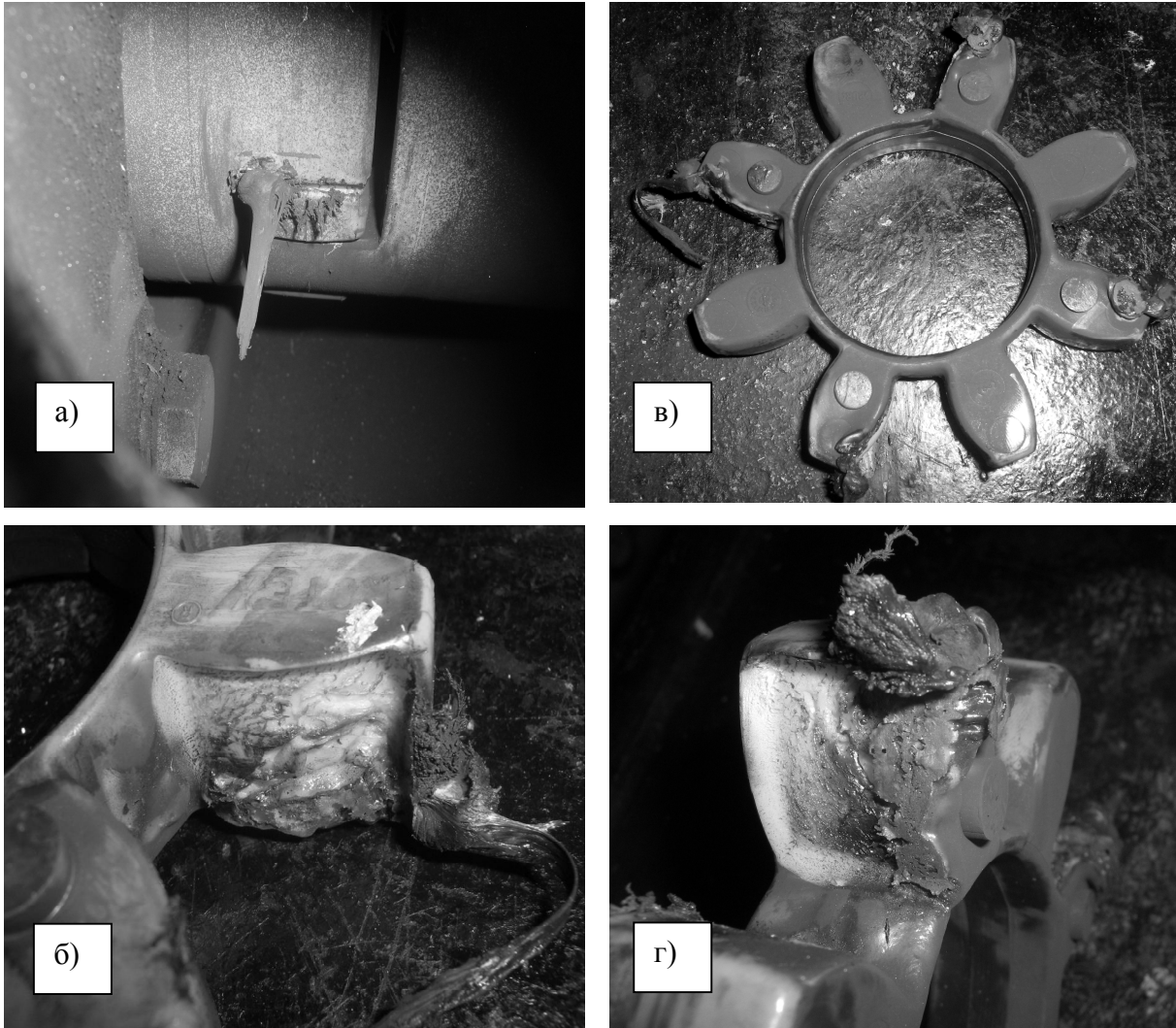


Рисунок 2 – Характер руйнування пружного елемента муфти

Виклад основного матеріалу. На оплавлення пелюсток муфти витрачена енергія у формі тепла. Виявлення її джерела дасть можливість розкрити механізм руйнування пружного елемента муфти та розв'язати інші поставлені задачі. Джерелом теплової енергії в даному випадку може бути внутрішнє тертя в матеріалі пружного елемента муфти (перший можливий варіант механізму руйнування) або зовнішнє конструкційне тертя пелюсток муфти по виступах-кулачках напівмуфт (другий можливий варіант механізму руйнування), оскільки будь-які нагрівальні елементи в даній конструкції відсутні.

Розглянемо перший варіант механізму руйнування пружного елемента муфти. Загальновідомо, що еластомірні матеріали характеризуються значним внутрішнім тертям, це обумовило їх використання для виготовлення пружних елементів муфт і одночасно створило проблему значного розігріву еластомірних деталей при роботі муфт, наприклад з тороподібною оболонкою, конічною шайбою та ін. Для виникнення розігріву матеріалу



пружних елементів від внутрішнього тертя до них повинна підводитись зовнішня енергія, найчастіше це енергія механічних коливань мас сполучених муфтою. Однак механічні коливання в системах типу насосного агрегату гідроприводу зазвичай незначні за рахунок високої власної демпфуючої здатності гідроприводу. Крім цього, проти даного варіанту виникнення теплової енергії свідчить те, що для оплавлення поліуретану необхідний його розігрів до температури близько 80°C , при якій він втрачає твердість. При цьому кожна пелюстка пружної зірочки при передачі муфтою обертального моменту T , стискається коловою силою F_t (рис. 3) [2, 3]:

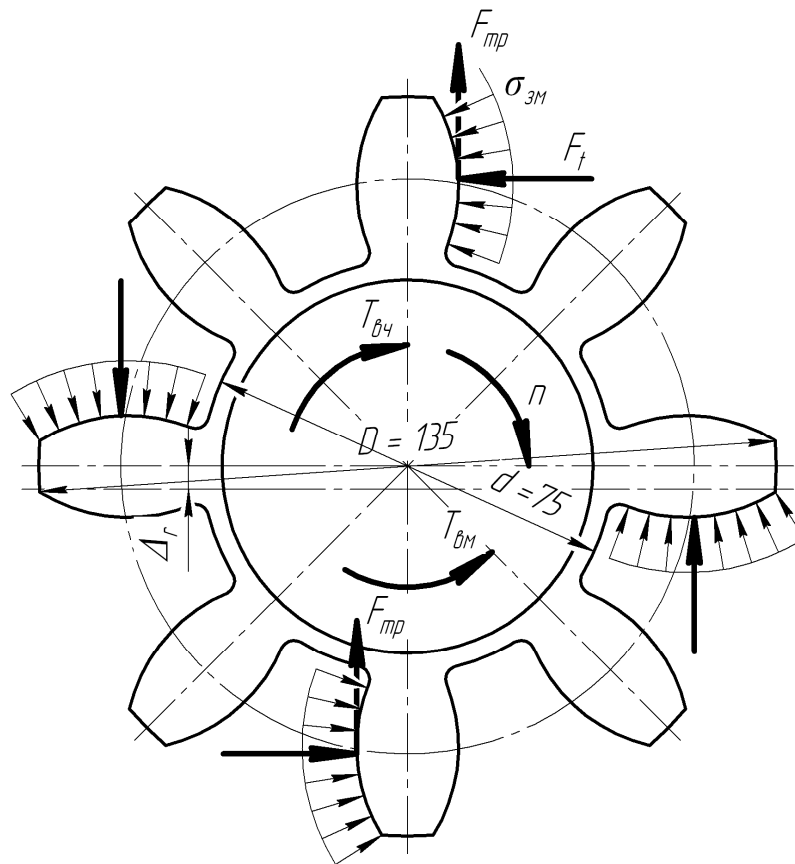


Рисунок 3 – Розрахункова схема пружної зірочки

$$T = 9550 \frac{N}{n} = 9550 \frac{49}{1750} = 267,4 \text{ Нм.} \quad (1)$$

$$F_t = \frac{8T}{z \times (D + d)} = \frac{8 \times 267,4 \times 10^3}{8 \times (135 + 75)} = 1273 \text{ Н} \approx 130 \text{ кг.} \quad (2)$$

Сила F_t викликає на пелюстках середні напруження змінання $\sigma_{зм}$:

$$\sigma_{зм} = \frac{2F_t}{(D - d) \times b} = \frac{2 \times 1273}{(135 - 75) \times 26} = 1,64 \text{ МПа.} \quad (3)$$

Очевидно, що тепло від внутрішнього тертя, будь воно причиною руйнування, поширювалось би зсередини пелюсток до периферії – при цьому пелюстки було би прогріто по всьому об'єму. Це, вкупі з дією стискаючої сили F_t , викликало б втрату пелюстками форми, або, простіше кажучи, їх «розчавлювання» кулачками напівмуфт. Однак з рис. 2б, в явно видно, що первинна форма пелюсток залишилася незмінною. Наведені міркування та розрахунки доводять, що в даному випадку до оплавлення пелюсток зірочки не могло привести тепловиділення від внутрішнього тертя в матеріалі пружного елемента.



Розглянемо другий варіант механізму руйнування пружного елемента муфти. Зовнішня тертя пелюсток пружного елемента муфти по кулачках напівмуфт можливе за умови їх взаємного проковзування – наприклад при наявності радіальної неспіввісності Δ_r (рис. 3). При цьому між пелюстками та кулачками напівмуфт під час роботи муфти виникатиме сила тертя (коефіцієнт тертя поліуретану по чавуну ($f = 0,4$)):

$$F_{mp} = F_t \times f = 1273 \times 0,4 = 510H . \quad (4)$$

Для аналізу можливості роботи муфти за наявності радіальної неспіввісності Δ_r і причини її виникнення розглянемо конструкцію насосного агрегату та з'єднання його валів у базовому виконанні (рис. 4). Агрегат містить аксіально-плунжерний гідронасос 1, який приводиться від електродвигуна 2 через пружну муфту з гумовою зірочкою 3. Гідронасос і електродвигун закріплені в отворах зварного корпусу 4, причому гідронасос закріплений через проставку 5. Посадки: електродвигуна у корпусі - перехідна, гідронасоса у проставці - перехідна, проставки у корпусі – із зазором. Аналіз цих посадок показує, що сумарний зазор у них може сягати максимальної величини $S_{max} = 0,75$ мм. Маса гідронасосу 1 становить 88 кг, а болти, якими його притягнуто до проставки 5 і проставку до корпусу 4 встановлено із зазором. Це означає, що всі зазори у спряженнях при роботі можуть бути вибрані в один бік і напівмуфти працюватимуть із радіальною неспіввісністю величиною до $\Delta_r = S_{max} = 0,75$ мм. У той же час муфта з пружною зірочкою допускає величину радіального зміщення $[\Delta_r] = 0,4$ мм. Очевидно, що компенсуюча здатність муфти не відповідає умовам її роботи.

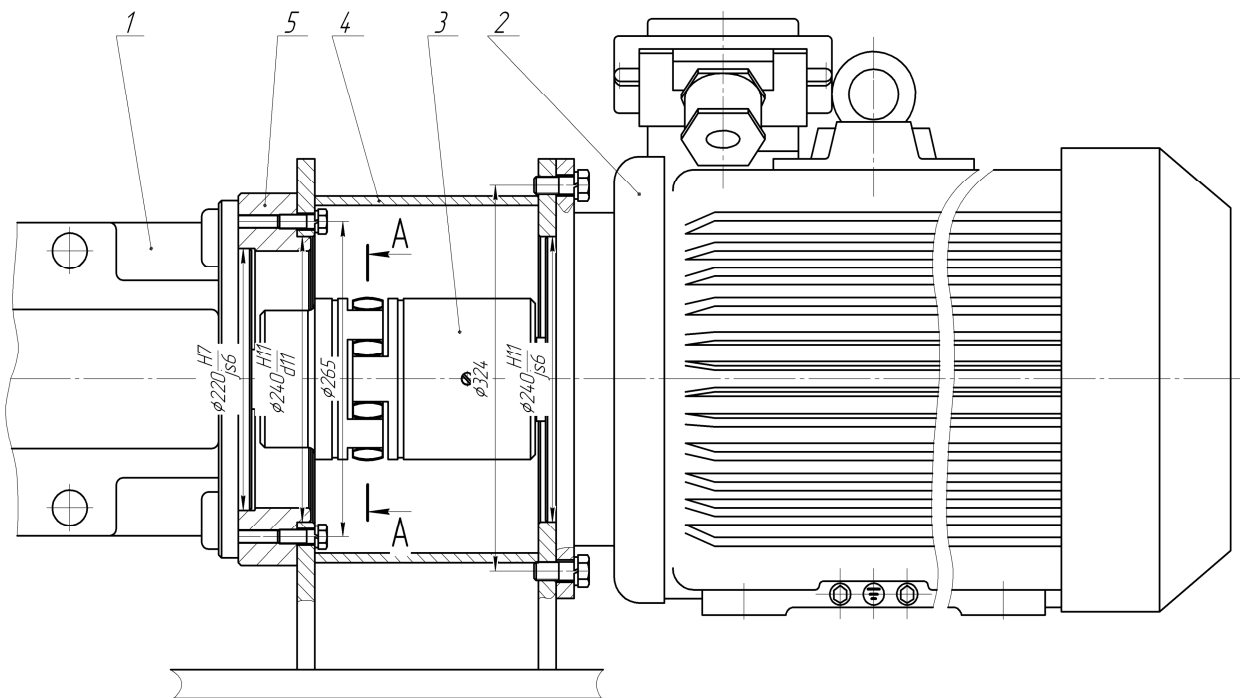


Рисунок 4 – Схема базового варіанту з'єднання валів насосного агрегату

При цьому, робота тертя, яку здійснює сила тертя однієї пелюстки об кулачок напівмуфти на шляху Δ_r за один оберт муфти (при цьому відбувається два ковзання – вверх і вниз) становить:

$$A_{mp} = \frac{2 \times F_{mp} \times \Delta_r \times z}{2} = \frac{2 \times 510 \times 0,75 \times 10^{-3} \times 2}{2} = 3,1 Дж . \quad (5)$$

Секундна робота, або потужність сили тертя N_{mp} , яка перетворюється на тепловий потік Φ становить:



$$\Phi = N_{mp} = A_{mp} \times \frac{n}{60} = 3,1 \times \frac{1750}{60} \approx 90 \text{ Вт} . \quad (6)$$

Неважко помітити, що ця потужність еквівалентна потужності нагрівального елемента паяльника і є достатньою для оплавлення пелюсток пружного елемента муфти. Механізм руйнування з виникненням нагріву за рахунок зовнішнього тертя пелюсток по кулачках, при русі тепла з поверхні зірочки в її середину, дозволяє пояснити оплавлення поверхні пелюсток без повного їх прогріву та втрату ними форми.

Основні заходи якими можна підвищити безвідмовність насосного агрегату можна звести до наступних напрямків:

1. Підвищення точності циліндричних поверхонь деталей спряжень насосного агрегату з метою зменшення зазорів у них при базовому варіанті з'єднання валів муфтою з пружною зірочкою;

2. Заміна муфти з пружною зірочкою на іншу, що має більшу компенсуючу здатність.

Перший напрямок потребує зміни технології виробництва деталей насосного агрегату та приведе до його здорожчання, тому неефективний.

Другий варіант можливо здійснити без суттєвого підвищення вартості насосного агрегату за рахунок заміни муфти з пружною зірочкою на іншу із більшою компенсуючою здатністю. Для даних умов підходить муфта з гумовим диском конструкції [4], що допускає роботу при неспіввідношенні $[Δ_r]= 1,0 \dots 1,5$ мм. Установка муфти з гумовим диском замість муфти з пружною зірочкою не викликає ускладнень і може бути виконана без зміни конструкції насосного агрегату (рис. 5) в судових умовах, наприклад, під час ремонту.

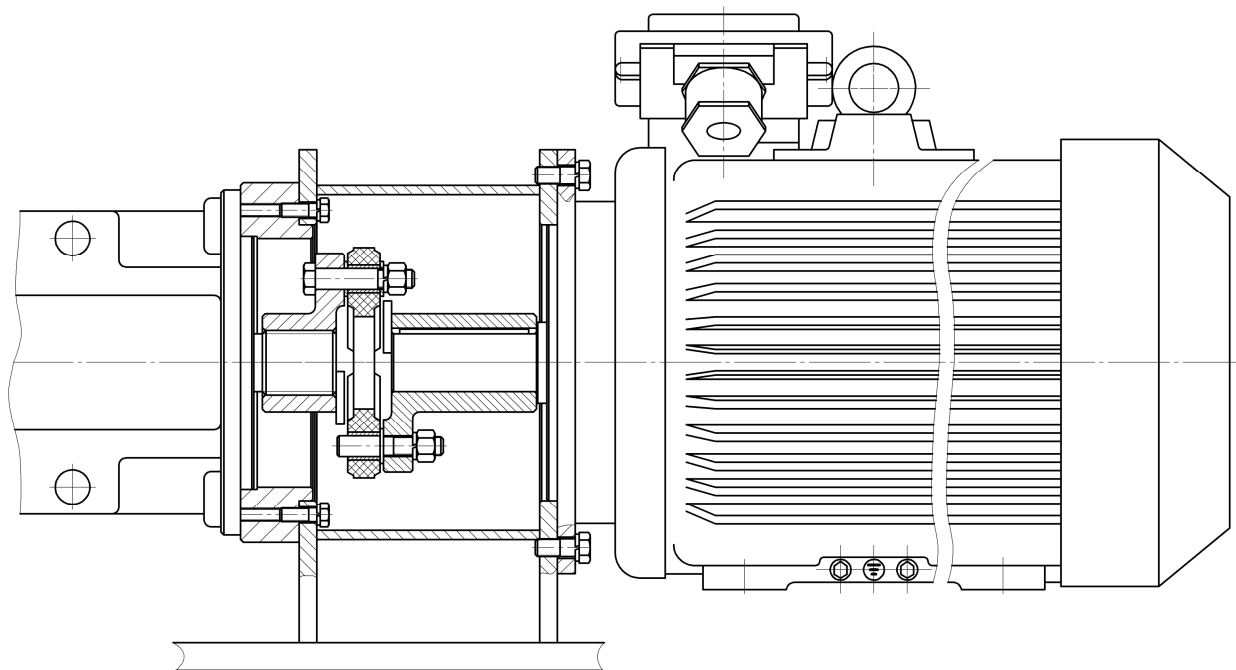


Рисунок 5 – Схема модернізованого варіанту з'єднання валів насосного агрегату

Висновок. Встановлено, що оплавлення поверхонь пелюсток пружної зірочки муфти відбулося через зовнішнє тертя її пелюсток по кулачках напівмуфти. Джерелом для виникнення тертя стала наявність радіальної неспіввідношеності з'єднаних муфтою валів яка перевищувала її компенсуючу здатність. Конструкторами насосного агрегату була допущена помилка при виборі з'єднувальної муфти, що призвела до відмови агрегату в експлуатації. Підвищення безвідмовності насосного агрегату може бути досягнуто за рахунок заміни муфти із зірочкою на іншу, що має більшу компенсуючу здатність, наприклад муфту з гумовим диском. Подальші дослідження доцільно спрямувати на зміну



властивостей матеріалу пружних зірочок, наприклад за рахунок їх модифікації наповнювачами та (або) обробку енергетичними полями [5] з метою збільшення теплопровідності та забезпечення антифрикційних можливостей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Харин В. М. Судовые гидравлические рулевые машины / В. М. Харин. – Одесса : Феникс, 2004. – 280 с.
2. Прикладна механіка / [Павлище В. Т., Харченко Є. В., Барвінський А. Ф., Гаршнів Ю. Г. / За ред. В. Т. Павлище]. – Львів : Інтеллект-Захід, 2004. – 368 с.
3. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків / В. О. Малащенко. – Львів : Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 208 с.
4. Справочник по муфтам / В. С. Поляков, И. Д. Барбаш ; под ред. В. С. Полякова. – Л. : Машиностроение, 1979. – 344 с.
5. Стухляк П. Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П. Д. Стухляк, А. В. Букетов, І. Г. Добротвор. – Тернопіль : Збруч, 2008. – 208 с.

Проценко В.А. ЭКСПЕРТИЗА ОТКАЗА МУФТЫ НАСОСНОГО АГРЕГАТА СУДОВОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РУЛЕВОЙ МАШИНЫ

В статье выполнена экспертиза отказа муфты насосного агрегата муфты рулевой машины. Раскрыт механизм разрушения упругой звездочки муфты и установлены его причины. Предложены мероприятия повышения безотказности насосного агрегата.

Ключевые слова: рулевая машина, насосный агрегат, отказ, муфта.

Protsenko V.O. EXPERTISE REFUSAL MUFF OF THE PUMPING AGGREGATE THE SHIP HYDRAULIC STEERING GEAR

Expertise of refusal muff of the pumping aggregate the steering gear is executed in the article. The mechanism of collapse an elastic sprocket of a muff is opened and its reasons are fixed. Actions of heightening non-failure operation of the pumping aggregate are offered.

Keywords: steering gear, pumping aggregate, refusal, muff.



УДК 631.354.2

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА У ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОМУ КОМБАЙНІ

Самарін О.Є.

Херсонська державна морська академія

Проведено лабораторне дослідження роботи повітряно-решітної системи очищення зерна у зернозбиральному комбайні при різних комплектаціях стенду. Визначена величина віброприскорення на панелях системи у горизонтальній та вертикальній площинах. Проведено порівняння отриманих результатів при різних схемах навантаження системи. Побудована трекограма руху решета під дією робочих та збудливих сил. Визначено оптимальну траєкторію трекограми. Проаналізовано отримані результати і дано практичні рекомендації для виробництва щодо зменшення вібронанавтаження на систему очищення.

Ключові слова: система очищення зерна, решето, віброприскорення, трекограма.

Вступ. Повітряно-решітне очищення комбайна призначене для виділення зерна з купи, що надходить з молотильного апарату і соломотряса. Основними вузлами системи очищення є транспортна дошка, верхнє і нижнє решета, що підвішені на підвісах. Транспортна дошка шарнірно з'єднана з верхнім решетом і каливається з нею в одній фазі. Нижнє решето шарнірно з'єднано з верхнім решетом і коливається з ним у протифазі [1].

Конструкція системи очищення вітчизняного зернозбирального комбайна розроблена таким чином, що транспортна дошка і два решета виконують зворотно-поступальний рух з частотою 250 кол./хв. на довжину 65мм. Маючи значну масу, система викликає коливання та вібрацію всього комбайна, що негативно впливає як на машину, викликаючи розкручування болтових з'єднань, так і на здоров'я комбайнера.

Частково проблема вирішується тим, що верхнє і нижнє решета коливаються у протифазі. Таким чином вони компенсують вібрацію одне одного. Але сукупна маса верхнього решета і транспортної дошки, що коливаються разом, більш ніж у два рази перевищує масу нижнього решета. Тому невірноваженість системи лишається і передається на весь комбайн.

Зменшення вібрації зернозбирального комбайна підвищить надійність машини та усуне негативний вплив на здоров'я людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ведучі виробники зернозбиральних комбайнів вирішують означену проблему декількома шляхами.

На комбайні AVERO 160 корпорації Claas [2], оснащеному класичним молотильним барабаном і системою сепарації зерна зменшено масу решіт за рахунок забезпечення більш раціональної форми несучих елементів конструкції та застосування полегшених матеріалів.

Комбайн TUKANO 400 того ж виробника оснащено додатковим барабаном-прискорювачем, встановленим перед молотильним барабаном. Така схема дозволяє на барабані-прискорювачі виділити найбільш цінну частину зерна у щадному режимі, а решту зерна – на молотильному барабані у звичайному режимі. При цьому з дрібної купи виділяється менше засмічення і решета менше завантажуються, що дозволяє зменшити їх площу і масу систему очищення.

На комбайні T560i корпорації John Deere [3] встановлено два молотильних барабана і три відбійних бітера, що передають зернову масу між ними і на соломотряс. При цьому на двох бітерах встановлено бильні лопаті, що додатково обмолочують масу. В системі очищення транспортна дошка відокремлена від решіт очищення і розділена на верхню і нижню частини, які працюють у профазі і врівноважують одне одного.

В комбайні S660i корпорації John Deere [4] взагалі відсутня транспортна дошка, а решета максимально врівноважені. Крім того, соломотряс замінено молотильно-



сепаруючим ротором, який при своїй роботі значно менше засмічує дрібну купу, що потрапляє на сепараційні решета.

Обов'язковою умовою зменшення вібрацій в усіх вказаних схемах є врівноваження мас, що рухаються зворотно-поступально.

В комбайнобудуванні були спроби встановити на машину центрифугу для виділення зерна за рахунок дії відцентрової сили. Ротор центрифуги обертається навколо своєї осі і не має мас, що рухаються зворотно-поступально. Проблема вібрації в такому механізмі вирішувалась повністю. Але він виявився не надійним тому, що на очищення поступала маса з різною вологістю і щільністю, що порушувало стабільність роботи сепаратора. Подальшого розвитку вказана схема не знайшла.

Таким чином, проблема врівноваження мас, що коливаються в системі очищення зерна, а також виявлення і зменшення негативних факторів підвищеної вібрації є актуальною.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Проблема врівноваження системи очищення вітчизняного зернозбирального комбайна полягає у тому, що значна різниця у масах, які рухаються у протифазах при зворотно-поступальному русі, не може бути повністю компенсована. Це пов'язано з тим, що до маси верхнього решета добавляється маса транспортної дошки. Крім того, на нижнє решето поступає частково відсепарована купа зерна. Тому площа і маса цього решета менше, ніж відповідні показники верхнього решета.

Додатковими збудниками вібрації є неточність виготовлення рухливих частин комбайна.

Мета дослідження. Встановити оптимальне місце і масу додаткового вантажу на нижньому решеті системи очищення для зменшення різниці між прискореннями елементів, що рухаються у профазі до прийнятних меж. Визначити додаткові негативні фактори в системі очищення, що збільшують вібрацію комбайна. Дати практичні рекомендації щодо модернізації системи очищення з метою зменшення її вібрації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) провести випробування системи очищення у різній комплектації;
- 2) зняти трекограму руху решета системи очищення;
- 3) зняти тензограму віброприскорень;
- 4) визначити оптимальну комплектацію системи очищення.

Дослідження проводились на статичному імітаторі механізму коливання решіт, який по своїм кінематичним характеристикам і конструкції повністю аналогічний тому, що використовується в системі очищення вітчизняного зернозбирального комбайна [5].

Враховуючи значну різницю між сумарною масою верхнього решета і транспортної дошки, що коливаються в одній фазі і нижнього решета, що коливається у протифазі до них, було прийнято рішення зменшити цю різницю до прийнятного рівня.

Для досягнення цієї мети були подовжені двоплечі важелі 9 (рис. 1) за допомогою балансирів, на кінцях яких розташовувалися компенсуючі вантажі. Вони представляють собою 6-ти кілограмові вантажі, що складаються з 10 шайб вагою 0,6 кг кожна. Надійна фіксація шайб забезпечується спеціальними шпильками.

Для візуалізації траєкторії руху решета, на кінці подовжених важелів 9 встановлювалось пристосування для зняття трекограми.

Критерієм оцінки оптимальної роботи системи було прийнято горизонтальне і вертикальне віброприскорення, що знімалося з панелей механізму. Мінімальні значення віброприскорення свідчили про оптимальну роботу системи очищення, а максимальні віброприскорення – про її незадовільну роботу.

Перед проведенням експериментів було заміряно горизонтальну і вертикальну вібрацію панелей на комбайні [6]. На середніх обертах двигуна (1300 об/хв) горизонтальна вібрація складала 55 мкм, а вертикальна – 30 мкм, на робочих обертах двигуна (2000 об/хв) горизонтальна вібрація складала 110 мкм, а вертикальна – 45 мкм. Як



видно, з підвищенням частоти обертання колінчастого вала двигуна збільшується інерційна складова, а відповідно й амплітуда вібрації.

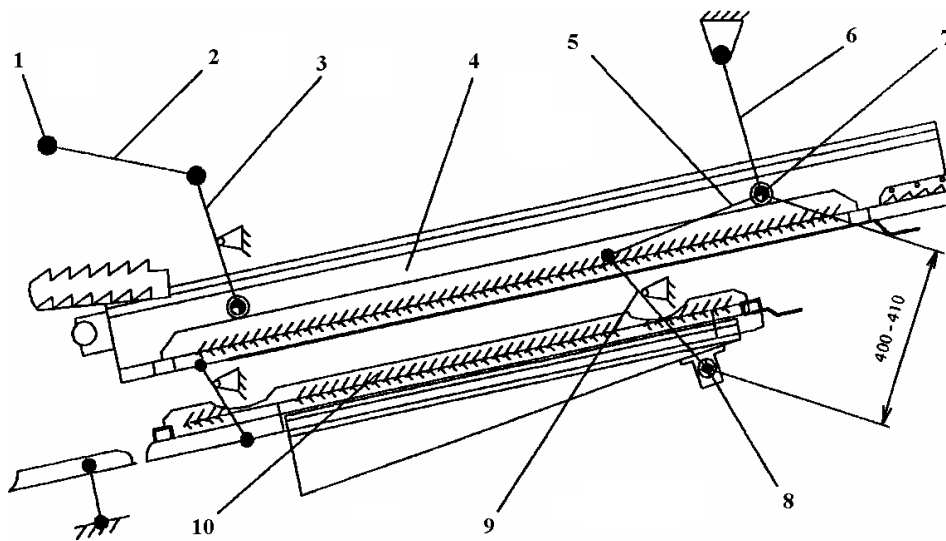


Рисунок 1 – Механізм коливання решіт: 1 – опорні підшипники коливального вала; 2 – шатун; 3 – приводний важіль; 4 – верхнє решето; 5, 6 – підвіска; 7 – задня вісь кочення верхнього решета; 8 – нерухома вісь кочення важелів решіт; 9 – двоплечий важіль; 10 – нижнє решето

Результати визначення віброприскорень наведено у табл. 1 [7].

Таблиця 1 – Віброприскорення на панелях системи очищення

Навантажувальні фактори	Площина	Прискорення, м/с ²	
		мінімальне	максимальне
Балансири з вантажем	Горизонтальна	4,61	17,77
	Вертикальна	4,5	4,5
Балансири без вантажу	Горизонтальна	4,61	18,44
	Вертикальна	4,45	4,45
Без балансирів і вантажу	Горизонтальна	17,53	30,94
	Вертикальна	5,15	7,75

Аналізуючи результати випробувань, що наведені в табл. 1, можна встановити факт існування додаткових збудливих сил. Цим пояснюється великий розкид між максимумними і мінімумними значеннями прискорень.

Для виявлення дії цих сил, була знята трекограма руху решета системи очищення. Трекограма має дві характерні ділянки – прямолінійна по середині і колоподібна на кінцях траєкторії. Загнутість кінців трекограми вказує на дію збудливих сил та незадовільний стан елементів привода системи очищення.

Збудлива сила обумовлена великими люфтами в парах тертя та їх зносом, а також недотриманням встановлених посадок.

У порівнянні з базовим варіантом, застосування балансирів (с грузом або без нього) дозволяє значно знизити вібронавантаження в горизонтальній площині і помірно у вертикальній. Величина зниження вібронавантаження в процентному відношенні приведена в табл. 2.

Як видно, застосування балансирів приводить до суттєвого зниження віброприскорень.

Для усунення дії збудливих сил було проведено додаткове регулювання механізму. Трекограма руху решета після доводки механізму має прямолінійний характер.

З наведених даних видно, що значного зниження вібронавантаження можна досягнути шляхом виготовлення коливального вала, ексцентриків та інших елементів



привода очистки у суворій відповідності до вимог конструкторської документації, а також введення в конструкцію системи очищення балансирів.

Таблиця 2 – Величина зниження віброприскорення на панелях системи очищення

Навантажувальні фактори	Площина	Величина зниження, %	
		Мінімальне значення віброприскорення	Максимальне значення віброприскорення
Балансири з вантажем	Горизонтальна	73,7	42,6
	Вертикальна	12,6	41,9
Балансири без вантажу	Горизонтальна	73,7	40,4
	Вертикальна	13,6	42,6

Для визначення критичної маси вантажів балансирів проводився експеримент, в якому маса змінювалась і синхронно визначалась величина віброприскорень. Результати досліджень наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Величина віброприскорення на панелях системи очищення при різних масах вантажів балансирів

№	Кількість вантажів балансира	Величина горизонтального віброприскорення, m/s^2	
		максимальна	мінімальна
1	8	11,25	4,9
2	7	12,85	5,51
3	6	13,0	6,89
4	5	14,0	7,25
5	4	12,4	5,36
6	3	11,63	5,69
7	2	11,8	5,36
8	1	11,56	4,5
9	0	8,49	4,16

Аналіз табл. 3 показує, що зміна маси вантажів балансирів змінює величину віброприскорення панелей системи очищення. Максимальне значення віброприскорення виявлено при 5 вантажах балансира.

Основні висновки і практичні рекомендації:

1. Значні вібрації системи очищення свідчать про її незадовільний технічний стан. При технічному огляді виявлено люфти, перекося і зміщення деталей, зношення резинових втулок і вузлів тертя.
2. При відрегульованій системі очищення балансири слугують корегуючими елементами, які її стабілізують.
3. При збиранні і регулюванні системи очищення необхідно використовувати інструментальні методи контролю якості.
4. Для зниження вібронавантаження необхідно використовувати балансири з підібраними масами.
5. Для зниження величини вібронавантаження необхідно перейти на посадки більш високого квалітету у вузлах тертя.
6. При виготовленні деталей та вузлів тертя необхідно ретельно контролювати величину параметрів шорсткості.
7. В приводі системи очищення необхідно перехідні посадки шківів замінити на посадки з натягом.



8. Перед початком експлуатації системи очищення необхідно її відрегулювати у відповідності до вимог конструкторської документації з використанням інструментальних методів.
9. В процесі експлуатації регулярно контролювати систему на наявність люфтів та своєчасно їх усувати.
10. Періодично проводити інструментальний контроль прямолінійності руху решіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчёт / [Турбин Б. Г., Лурье А. Е., Григорьев С. М., Иванович Э. М., Мельников С. В.] – Л. : Машиностроение, 1967. – 584 с.
2. CLAAS. Техника на все четыре времени года. Ваша линейка CLAAS 2012. CLAAS KGaA mbH Postfach 1163 33416 Harsewinkel Deutschland. – 135 p.
3. John Deere. YY1114263NL. – 35 p.
4. John Deere. YY1114262NL. – 47 p.
5. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-9-1 «Славутич». Руководство по эксплуатации КЗС-9-1 РЭ. ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод», 2008. – 369 с.
6. Протокол проверки вибрации комбайна «Скиф-250Р» от 31.07.2012г. Лаборатория ГСКБ ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод». – 2 с.
7. Отчёт о проведенных лабораторных испытаниях на стенде решётной очистки зерноуборочного комбайна «Скиф-330». – Лаборатория испытаний ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод», 11.12.2012г. – 6 с.

Самарин А.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ЗЕРНА В ЗЕРНОУБОРОЧНОМ КОМБАЙНЕ

Проведено лабораторное исследование работы воздушно-решётной системы очистки зерна в зерноуборочном комбайне при различных комплектациях стенда. Определена величина виброускорения на панелях системы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Проведено сравнение полученных результатов при различных схемах нагрузки системы. Построена трекограмма движения решета под действием рабочих и возбуждающих сил. Определены оптимальные траектории трекограммы. Проанализированы полученные результаты и даны практические рекомендации для производства относительно уменьшения вибронегативности на систему очистки.

Ключевые слова: система очистки зерна, решето, виброускорение, трекограмма.

Samarin O.E. THE RESEARCH OF THE SYSTEM OF GRAIN CLEANING IN GRAIN COMBINE

The researches were conducted to test the air-sieve grain cleaning system operation in different versions of the stand. The value of vibration acceleration on the panels in the horizontal and vertical planes was determined. The results obtained with different loading schemes of the system were compared. The trackgram of sieve movement under the action of operating and shaking forces was built. The optimal trackgram trajectories were determined. The results were analyzed and practical production recommendations were made to reduce loading oscillation on the cleaning system.

Keywords: grain cleaning system, sieve, oscillation, trackgram.



УДК 621.7

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ РІЗЬБОВОЇ ПАРИ З НАКАТНОЮ РІЗЬБОЮ

Самарін О.Є.

Херсонська державна морська академія

Проведено порівняльне дослідження міцності двох груп різьбових пар М8 та М12. Кожна група складається з гайки, привареної до пластини, і болта класу міцності 8.8 – контрольна пара та пластини з накатною різьбою, виконаною методом термічного накатування за технологією flowdrill і flowtap та болта класу міцності 8.8 – досліджувана пара. Болт затягувався до настання плинності матеріалу у з'єднанні. При цьому динамометричним ключем фіксувався максимальний крутний момент. Проводилось порівняння отриманих моментів контрольної та досліджуваної пари між собою та з нормативними показниками. Дано рекомендації щодо використання нової технології у машинобудуванні.

Ключові слова: накатна різьба, технологія flowdrill і flowtap, плинність матеріалу, крутний момент.

Вступ. У сучасних машинах багато місць, в яких необхідно виконати різьбу для закріплення вузлів та деталей. Така технологічна операція можлива при достатній товщині базової деталі, в якій різьба нарізується. Вона повинна бути не менше висоти гайки під відповідну різьбу. Але більшість панелей має товщину до 2...4 мм, що дозволяє нарізати різьбу до М5. Болти з такою різьбою не можуть бути використані для кріплення навантажених елементів.

Для вирішення вказаної проблеми в більшості випадків у виробництві використовується нарізна гайка, яка кріпиться до панелі сваркою або розвальцьовуванням вхідної частини. Може використовуватись заклепка, в якій нарізується різьба.

Вказані методи відрізняються підвищеною трудомісткістю, необхідністю виготовлення додаткових перехідних деталей та наявністю відходів виробництва у вигляді стружки при свердлінні отвору та нарізанні різьби. Крім того, приварювання або клепка готової деталі з нарізаною різьбою може привести до її пошкодження або зміни геометрії профілю різьби. Тому після виконання вказаних технологічних операцій необхідно перевіряти різьбу калібром.

Враховуючи масовість різьбових отворів в машинах, проблема зменшення трудомісткості виготовлення та відходів виробництва набуває практичної значущості.

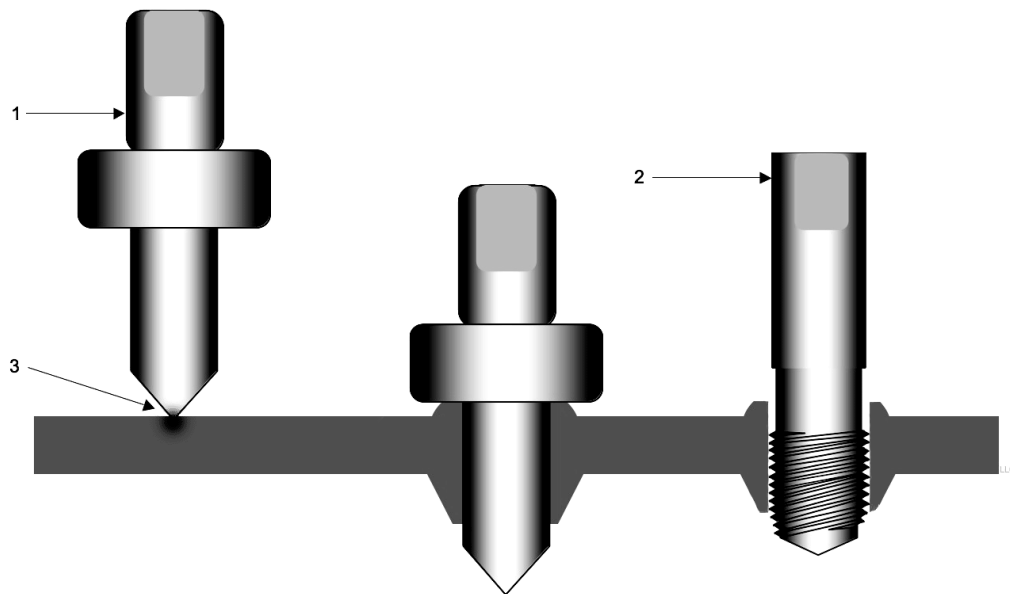
Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значно зменшити вказані недоліки і підвищити культуру виробництва дозволяє нова технологія flowdrill – для виконання циліндричних отворів та flowtap – для накатування різьби, основні етапи якої показано на приведеному рисунку 1 [1]. Вона дозволяє з жорстким допуском робити з'єднання в тонкостінному матеріалі, таким чином усуваючи додаткову вартість робочих операцій. Flowdrill дозволяє отримати кільцеву коронку, яка в 3 рази більше по висоті, ніж товщина матеріалу, що дозволяє нормально нарізати різьбу в тонкостінному матеріалі з одночасним його зміцненням.

Інструмент Flowdrill входить в контакт с матеріалом, використовуючи відносно високий осьовий тиск і частоту обертання. Отримана теплота робить матеріал м'яким і достатньо в'язким для того, щоб надати необхідну форму і зробити отвір. Оскільки інструмент Flowdrill входить в матеріал, частина вичавленого матеріалу формує кільце навколо верхньої поверхні деталі, що оброблюється. Друга частина матеріалу формує втулку внизу поверхні деталі. Вся операція займає декілька секунд. У результаті отримане кільце і втулка мають загальну довжину, рівну трьом товщинам матеріалу. Діаметр втулки точно визначений діаметром циліндричної частини інструмента Flowdrill.

Процес не змінює внутрішню структуру матеріалу. Отримана втулка має високу міцність і може використовуватись для опорних втулок або, коли нарізання різьби є



окремим процесом, може забезпечити високий крутний момент різьбової поверхні з високою міцністю на розрив.



Технологічний процес виготовлення отвору і різьби: 1 – інструмент для виготовлення отвору по технології flowdrill; 2 – метчик для накатування різьби по технології flowtap; 3 – розігрівання в точці контакту інструменту з матеріалом

Технологія Flowdrill може бути використана в будь-якому технологічному процесі, коли товщина матеріалу не дозволяє виготовити повноцінне різьбове з'єднання.

Інструменти Flowdrill можуть використовуватись у звичайних свердлувальних станках і станках з системою ЧПУ з електричним двигуном потужністю від 1,5 до 3,5 кВт. Частота обертання від 1000 до 3500 об/хв.

Інструменти Flowdrill для отримання отворів виготовлені з високоміцного карбіда вольфрама. Накатні мітчики (Flowtaps) зроблено з високоякісної швидкоріжучої сталі і можуть бути заказані з канавками для змащування і з спеціальним покриттям для індивідуальних випадків.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Відомо, що гайки виготовляються у відповідності до прийнятих державних стандартів по класах міцності. Як правило, гайки виготовляються з високоякісної сталі, підлягають термічній обробці і повинні відповідати певним критеріям механічної міцності [3]. У той же час, матеріал деталей машин де нарізується різьба, може значно відрізнитись по показниках механічної міцності від вимог стандарту до гайок і приходити на обробку нормалізованим або покращеним.

Враховуючи це, перед застосуванням нової технології необхідно перевірити надійність кріплення і прийняти рішення про її застосування, на що звертає увагу і розробник технології [2].

Мета проведення досліджень. Перевірка міцності різьбової пари М8 та М12 з накатною різьбою, порівняння максимального моменту затягування з нормативним і видача рекомендацій щодо застосування нової технології у виробництві [4].

Об'єкти досліджень:

- пластини товщиною 3 мм, виготовлені зі сталі Ст3пс2ДСТУ 2651-94 (ГОСТ 380-94) з накатними гайками М8 та М12;
- пластини товщиною 3 мм з привареними нарізними стандартними гайками М8 та М12 класу міцності 8;
- болти М8 та М12 класу міцності 8.8.



Перед проведенням дослідження всі різьбові отвори, виконані методом термічної накатки, були перевірені калібром.

Методика проведення досліджень. Об'єкти дослідження встановлювались в затискач на слюсарному верстаті. В них вкручувались відповідні болти М8 та М12 групи міцності 8.8. Затягування різьби виконувалось динамометричним ключем до стану плинності пари. У цей час фіксувався максимальний момент затягування. Отримані результати наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати порівняння різьбових пар з накатною та нарізною різьбами

<i>Різьбова пара</i>	<i>Максимальний момент затягування, M_{max}, Нм</i>	<i>Нормативний момент затягування, $M_{нор.}$, Нм, [5]</i>	<i>Максимальний робочий момент затягування, 70% M_{max}, Нм</i>	<i>Середній максимальний момент, $M_{ср}$, Нм</i>
М8-накатна різьба	54,0 35,5 40,5	20,0-25,0	37,8 24,8 28,3	43,3
М8 – приварна стандартна гайка	72,0		50,4	
М12-накатна різьба	115,0 132,0	75,0-85,0	80,5 92,4	123,5
М12 – приварна стандартна гайка	158,0		110,6	

Після проведення досліду гвинтова пара розкручувалась і визначався елемент, матеріал якого не витримав навантаження. Для цього проводилось вимірювання геометричних розмірів різьбових деталей, а отримані дані порівнювались з розмірами до проведення випробувань. Крім того, зверталась увага на наявність матових ділянок на поверхнях, що свідчить про розтягування деталі.

Додатково проведено дослідження для різьбової пари М12. Різьба накатана у зразку товщиною 3мм, виготовленого зі сталі Ст08кп ДСТУ2834-94 (ГОСТ 16523-97). Встановлено, що максимальний крутний момент досліджуваної пари становив 122,5 Нм.

При виготовленні складних машин з розгалуженою фермовою конструкцією в якості несучих елементів часто використовують труби круглого та прямокутного сечення. Для зменшення маси конструкції труби в рамній конструкції мають товщину стінки 2...4 мм. Кріплення деталей до них виконується як за допомогою сварки, так і через різьбові з'єднання.

У якості досліджуваного об'єкта вибрано трубу 20x20x2-10 ГОСТ 8639-68 із сталі 10 ДСТУ 2834-94 (ГОСТ16523-97) [6]. Досліджувалась накатна різьба М8, а також приварна стандартна гайка. При цьому випробовувались наступні різьбові пари:

- накатна різьба в трубі – болт класу міцності 5.8;
- гайка класу міцності 5 – болт класу міцності 5.8;
- гайка класу міцності 8 – болт класу міцності 8.8.

Дослідження проводились по раніше вказаній методиці. Максимальний крутний момент, що витримали різьбові пари наступний:

- накатна різьба в трубі – болт класу міцності 5.8-9,9 Нм;
- гайка класу міцності 5 – болт класу міцності 5.8-39,1 Нм;
- гайка класу міцності 8 – болт класу міцності 8.8-55 Нм.

Для надання рекомендацій щодо застосування накатної різьби необхідно порівняти максимальний крутний момент затягування різьбових з'єднань близьких розмірів різьби. Порівняльні дані наведено у табл. 2 [5].



Таблиця 2 – Порівняння максимальних крутних моментів затягування різьбових з'єднань, Нм

Різьба	Крок різьби <i>P</i> , мм	Клас міцності по ГОСТ 1759-70		
		Болта		
		5.8		8.8
		Гайки		
		5	6	8
M8	1,25	16		25
M10	1,50	30		50
Різниця між показниками, %		46,6		50
M12	1,75	53		85
M14	2,00	85		136
Різниця між показниками, %		37,6		37,5

Як видно з табл. 1 и табл. 2, різниця міцності накатної і нарізної гайки однакового номінального діаметра знаходиться в межах різниці міцності нарізних гайок, які стоять поряд.

Висновки щодо даного дослідження та рекомендації:

1. Максимальний момент затягування для стандартних приварних гайок М8 вище від відповідного моменту затягування для накатної різьби М8 на 28,7 Нм (39,9 %).
2. Максимальний робочий момент затягування для стандартних приварних гайок М8 вище від відповідного моменту затягування для накатної різьби М8 на 20,1 Нм (39,9 %).
3. Максимальний робочий момент затягування для стандартних приварних гайок М8 вище нормативного моменту затягування на 27,9 Нм (55,4 %), а для накатної різьби вказаний показник становить 7,8 Нм (25,7 %).
4. Максимальний момент затягування для стандартних приварних гайок М12 вище від відповідного моменту затягування для накатної різьби М12 на 34,5 Нм (21,8 %).
5. Максимальний робочий момент затягування для стандартних приварних гайок М12 вище від відповідного моменту затягування для накатної різьби М12 на 24,15 Нм (21,9 %).
6. Максимальний робочий момент затягування для стандартних приварних гайок М12 вище нормативного моменту затягування на 30,6 Нм (27,7 %), а для накатної різьби вказаний показник становить 6,45 Нм (7,46 %).
7. Значної зміни максимального крутного моменту із заміною сталі Ст3пс2ДСТУ 2651-94 (ГОСТ 380-94) на сталь Ст08кп ДСТУ2834-94 (ГОСТ 16523-97) не відбулось.
8. Розбирання дослідних з'єднань з накатною різьбою показало, що болти групи міцності 8.8 не змінювали форму. Перевищення межі плинності зазнавав матеріал деталі, в якій накатувалась різьба. Тому можна зробити висновок, що перехід до високоякісної конструкційної сталі підвищить механічну міцність з'єднання.
9. Застосування різьбових пар М8 та М12 з накатною різьбою у деталях та відповідними болтами групи міцності 8.8 розширюють конструкторсько-технологічні можливості і можуть бути рекомендовані у виробництво при товщині матеріалу не менше 3 мм.
10. В деталях з товщиною стінки 2 мм не достатньо матеріалу для формування повноцінної втулки для накатування різьби М8 і різьби з більшим номінальним розміром (довжина втулки має бути не менше висоти відповідної гайки). Тому максимальний момент різьбової пари з накатною різьбою значно менший, ніж у пари з стандартною нарізною гайкою: на 29,2 Нм (74,6 %) для пари класу міцності 5 та на 45.1 Нм (82 %) для пари класу міцності 8. Тому у деталях з товщиною стінки 2 мм і менше не рекомендується термічне накатування різьби М8 і різьби з більшим номінальним розміром.
11. При необхідності збільшити міцність накатної пари рекомендується застосовувати пару з більшим номінальним діаметром різьби.



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технология термического сверления для создания резьбового соединения в тонкостенном металле [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www. flowdrill. com](http://www.flowdrill.com).
2. ООО ТПП «Спектр». Система термического сверления [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.tppspektr.dp.ua.
3. ГОСТ 1759.5-87. Гайки. Механические свойства и методы испытаний. – 9 с.
4. Протокол проверки резьбовых пар болт-накатная гайка от 25.05.2012г. – ТОВ НВП «ХМЗ». – 2 с.
5. ОСТ 23.4.250-85 Соединения резьбовые крепёжные. Нормы затяжки. Протокол проверки резьбовых пар болт-накатная гайка от 25.04.2012г. ТОВ НВП «ХМЗ». – 1 с.

Самарин А.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ РЕЗЬБОВОЙ ПАРЫ С НАКАТНОЙ РЕЗЬБОЙ

Проведено сравнительное исследование прочности двух групп резьбовых пар М8 и М12. Каждая группа состоит из гайки, приваренной к пластине, и болта группы прочности 88 – контрольная пара и пластины с накатной резьбой, выполненной методом термической накатки по технологии flowdrill и flowtap и болта группы прочности 88 – исследуемая пара. Болт затягивался до наступления текучести материала в соединении. При этом динамометрическим ключом фиксировался максимальный крутящий момент. Проводилось сравнение полученных моментов контрольной и исследуемой пары между собой и с нормативными показателями. Даны рекомендации по использованию новой технологии в машиностроении.

Ключевые слова: накатная резьба, технология flowdrill и flowtap, текучесть материала, крутящий момент.

Samarin O.E. RESEARCH ON DURABILITY OF A THREADED PAIR WITH A ROLLING SCREW-THREAD

A comparative study of durability of two groups of threaded pairs of M8 and M12 is undertaken. Every group consists of a nut welded on to a plate, and a screw-bolt with a steel grade 88, that constitute a check pair and a plate with a rolling screw-thread produced by means of thermal knurling according to flowdrill and flowtap technologies and a screw-bolt with a steel grade 88, that constitute a pair under study. A screw-bolt was tightened till yielding of material in a joint. Thereby a peak torque was fixed with a torque indicating wrench. A comparison of torques of a check pair and a pair under study with each other and with performance standards was made. Recommendations are given on the use of a new technology in engineering.

Keywords: rolling screw-thread, flowdrill and flowtap technologies, yielding of material, torque.



УДК 614.838.42

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА ЗАЖИГАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СТАЛЬНЫХ НАКАЛЕННЫХ ЧАСТИЦ ПАРОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ИМЕЮЩИХСЯ НА СУДНЕ

Селиванов С.Е., Тригуб С.Н.

Херсонская государственная морская академия,

Калинчак В.В., Черненко А.С.

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

В работе рассматривается опасность накалившихся стальных частиц, образующих при сварке или трении, которые в дальнейшем способны поджечь паровоздушные смеси легко воспламеняющихся жидкостей, перевозимые на судах. Проведен анализ влияния теплотерь излучением на максимальную температуру и время «жизни» накалившейся стальной частицы, находящейся в паровоздушной смеси легко воспламеняющихся жидкостей в зависимости от начальных условий, а именно: температуры и диаметра частицы, толщины оксидного слоя.

Ключевые слова: легко воспламеняющиеся жидкости, пожар, накалившиеся стальные частицы, время «жизни», температура, диаметр частицы.

Актуальность исследования. Легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) – это жидкости с температурой вспышки до 60 °С и ниже [1]. ЛВЖ и горючие жидкости всех типов перевозятся танкерами в качестве наливного груза, а также в переносных емкостях, в том числе с размещением их в контейнерах.

На каждом судне имеется большое количество горючих жидкостей в виде мазута и дизельного топлива, которые используются для обеспечения движения судна и выработки электроэнергии. При наличии в трубопроводах трещин эти жидкости вытекают и оказываются под воздействием источников воспламенения. Значительное растекание этих жидкостей приводит к очень сильному пожару.

К числу других мест, где имеются ЛВЖ, относятся камбузы, различные мастерские и помещения, в которых используются или хранятся смазочные масла. В машинном отделении мазут и дизельное топливо в виде остатков и пленок могут находиться на оборудовании и под ним. Наличие ЛВЖ, образующие паровоздушную смесь на судне, приводит к усиленному соблюдению техники безопасности, особенно при необходимом проведении сварочных работ, поскольку при сварке разлетаются искры, имеющие высокую температуру, и шлак, что создает высокую пожарную опасность сварочных работ [2-4]. Отметим, что резка металла – еще более опасная операция, чем сварка.

Пожарная опасность накалившихся стальных частиц, образующих при сварке или трении, и в дальнейшем способны поджечь паровоздушные смеси ЛВЖ, перевозимые на судах, в первую очередь определяется температурой, размером и скоростью движения частиц [2-6]. Пренебрежение теплотерями излучением ведет к неоправданному завышению пожарной опасности накалившихся стальных частиц, что сказывается на получении завышенных значений по сравнению с экспериментальными температур накалившихся стальных частиц и, следовательно, на резком уменьшении времени зажигания паровоздушных смесей ЛВЖ. Следовательно, данное исследование является актуальным.

Для оценки пожарной опасности фрикционной искры обычно используется критическое условие зажигания, полученные в предположении о бесконечно большом времени «жизни» искры. Однако экспериментальные значения времени высокотемпературной «жизни» искры лежит в пределах 10 – 20 мс. Поскольку время «жизни» искры конечное, то для обоснования ее пожарной опасности необходимо рассматривать нестационарный процесс зажигания паровоздушных смесей ЛВЖ целью определения времени зажигания. Если время зажигания больше времени, чем время «жизни», то паровоздушная смесь ЛВЖ не воспламеняется.



Анализ публикаций по теме исследования. Для оценки времени зажигания t_c смеси используют метод Зельдовича, а в дальнейшем и метод Калинчака-Михеля [7-9]:

$$t_c = \frac{1}{\pi a_g} \left(\frac{1}{r_{kr}} - \frac{1}{r_s} \right)^{-2},$$

где a_g – коэффициент температуропроводности смеси, м²/с; r_s – радиус частицы, м, r_{kr} – критический радиус частицы, м.

При получении аналитической зависимости времени зажигания газовой смеси фрикционной искры от температуры, размера искры и физико-химических свойств газовой смеси предполагают частицу неподвижной относительно газовой смеси.

Критический размер в данном методе оценивают как

$$r_{kr} = \sqrt{\frac{\lambda_g (T_s - T_g)^2}{2Q\rho_g C_{zop} R T_s^2 k_o} \exp\left(\frac{E}{RT_s}\right)},$$

где T_s – температура поверхности частицы, К; T_g – температура газовой смеси, К; λ_g – коэффициент теплопроводности смеси, Вт/(м·К); Q – тепловой эффект реакции на килограмм горючего, Дж/кг; C_{zop} – относительная массовая концентрация горючего, ρ_g – плотность смеси, кг/м³; k_o – предэкспоненциальный множитель, м/с; E – энергия активации реакции, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).

Как видно из формулы критический радиус частицы, а с ним время зажигания, существенно зависит от температуры поверхности частицы.

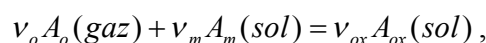
В паровоздушной смеси присутствует высокая доля кислорода. Поэтому фрикционные искры, попадая в такую смесь, начинают окисляться. При начальных температурах частицы выше температуры зажигания приводит к повышению температуры. В результате время «жизни» фрикционной частицы и средняя температура возрастает.

Обычно оценки температур фрикционных иск проводят без учета теплообмена излучением, обращая внимание на малость размера частицы [6, 7]. Но даже для характерных размеров фрикционных искр (50-200 мкм) не учет роли теплообмена излучением может привести к повышению расчетных значений.

Целью данной работы является анализ влияния теплотерь излучением на максимальную температуру и время «жизни» накаливаемой стальной частицы, находящейся в паровоздушной смеси легковоспламеняющихся жидкостей в зависимости от начальных условий, а именно: температуры и диаметра частицы, толщины оксидного слоя.

Постановка задачи. В данной работе, как и в [10], проводится анализ влияния теплообмена излучением с холодными стенками, на характеристики высокотемпературного теплообмена и кинетику окисления металлической частицы с образованием компактного оксидного слоя при учете стефановского течения при различных диаметрах и начальных температурах металлической частицы. В качестве предмета исследования рассматривается частица железа, на поверхности которой образуется компактная окисная пленка, обладающая большим значением коэффициентом черноты и критерием Пиллинга-Бедворта [11] больше единицы.

Уравнение химической реакции на поверхности накаливаемой металлической частицы с кислородом воздуха представим в общем виде:



где A_o , A_m , A_{ox} – окислитель, металл и окисел, соответственно; W_m , W_{ox} – скорости химической реакции по металлу и оксиду; ν_o , ν_m , ν_{ox} – стехиометрические



коэффициенты.

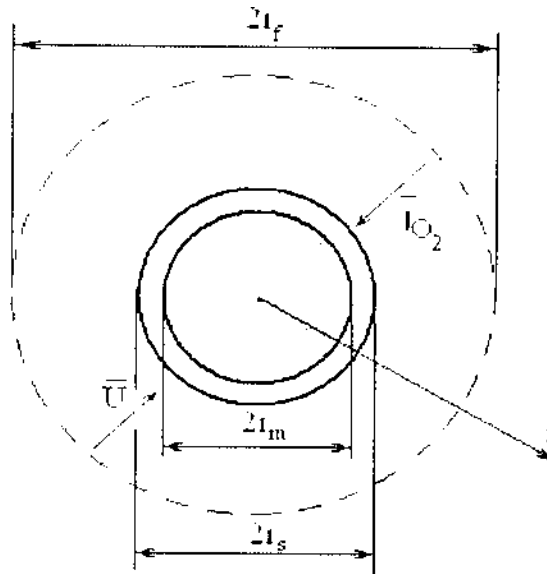


Рисунок 1 – Металлическая частица, покрытая слоем окисла, где $2r_s = 2r_m + 2h$, $2r_s = d$,
 $2r_m = d_m$

Скорость химической реакции по окислителю W_o прямо пропорциональна концентрации окислителя и обратно пропорциональна толщине окисного слоя, получим:

$$W_o = -\frac{1}{\pi d^2} \frac{\partial m_o}{\partial t} = \frac{D_v}{h} \rho_{gs} C_{o_2s}, \quad (1)$$

$$D_v = D_{vo} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad \rho_{gs} = \rho_{go} \frac{T_o}{T} \cdot \frac{P}{P_o}$$

где D_v – коэффициент диффузии ионов металла через оксидный слой, m^2/c ; ρ_{gs} – плотность газа (воздуха) на поверхности частицы, kg/m^3 ; h – толщина оксидного слоя, м; d – диаметр частицы с окислом, м; C_{o_2s} – относительная массовая концентрация кислорода на поверхности частицы; E – энергия активации, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль К); T – температура частицы, К; T_{gs} – температура газа на поверхности частицы, К; ρ_{go} – плотность воздуха при температуре T_o , kg/m^3 .

Между скоростями химической реакции по металлу W_m , кислородом и оксиду W_{ox} имеется связь:

$$W_m = -\frac{\rho_m}{\pi d^2} \frac{\partial V_m}{\partial t} = \frac{v_m M_m}{v_o M_o} \frac{D_v}{h} \rho_{gs} C_{o_2s}, \quad (2)$$

$$W_{ox} = -\frac{\rho_{ox}}{\pi d^2} \frac{\partial V_{ox}}{\partial t} = \frac{v_{ox} M_{ox}}{v_o M_o} \frac{D_v}{h} \rho_{gs} C_{o_2s} \quad (3)$$

$$V_m = \frac{\pi d_m^3}{6}, \quad V_{ox} = \frac{\pi}{6} (d^3 - d_m^3).$$

Отношение объема из (2) и (3) образующегося окисла металла V_{ox} к объему металла V_m , израсходованного на образование окисла, равно известному критерию Пиллинга-Бедворта [11]:



$$-\frac{\partial V_{ox}}{\partial V_m} = \frac{v_{ox} M_{ox} \rho_m}{v_m M_m \rho_{ox}} = P_b.$$

Здесь ρ_m и ρ_{ox} – плотности металла и оксида. Для оксида FeO критерий $P_b = 1.78$.

Из (2) и (3) на основе закона сохранения массы можно получить следующие уравнения для скоростей изменения со временем диаметра всей частицы:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = 2 \frac{v_m M_m}{v_o M_o} (P_b - 1) \frac{\rho_{gs}}{\rho_m} \frac{D_v}{h} C_{O_2s}, \quad d(t=0) = d_b \quad (4)$$

и толщины оксидного слоя:

$$C_{O_2s} = C_{O_2\infty} \frac{\beta \rho_g}{\beta \rho_g + \left(\frac{D_v}{h} - U_{sk} \right) \rho_{gs}}, \quad h(t=0) = h_b. \quad (5)$$

Концентрация окислителя (кислорода) на поверхности частицы, найдется из равенства массового потока окислителя, стефановского течения и скорости химической реакции по кислороду:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = 2 \frac{v_m M_m}{v_o M_o} (P_b - 1) \frac{\rho_{gs}}{\rho_m} \frac{D_v}{h} C_{O_2s}, \quad (6)$$

$$S_e = \frac{D_v \rho_{gs}}{h \beta \rho_m}, \quad U_{sk} = \frac{D_v}{h} C_{O_2\infty}, \quad \beta = \frac{D_g Nu}{d},$$

где S_e – диффузионно-кинетическое соотношение, U_{sk} – скорость стефановского течения на поверхности частицы при кинетическом режиме окисления, β – коэффициент массообмена.

Общим условием возникновения стефановского потока в газовой фазе вблизи поверхности окисляющейся частицы является появление (исчезновение) дополнительных масс газа в результате фазовых переходов первого рода (испарение, сублимация, конденсация и др.) и химических гетерогенных процессов [10]. В результате окисления частицы стали стефановское течение направлено к поверхности частицы и скорость стефановского течения у поверхности частицы U_s определяется скоростью исчезновения кислорода в химической реакции:

$$U_s \rho_{gs} = \frac{D_v}{h} C_{O_2s} \rho_{gs} = W_o.$$

Плотность теплового потока $q_{g,st}$ на поверхности частицы с учетом стефановского течения имеет вид:

$$q_{g,st} = \alpha (T_{gs} - T_{g\infty}) - U_s \rho_{gs} c_g T_*,$$

$$T_* = \frac{T + T_g}{2}, \quad \alpha = \frac{\lambda_g Nu}{d},$$

где α – коэффициент теплообмена.

Температура газа на поверхности частицы равна температуре частицы ($T_{gs} = T_s = T$). Поэтому динамика изменения температуры накаливаемой металлической частицы представится в виде:



$$\frac{d}{6} c_c \rho_c \frac{\partial T}{\partial t} = q_{eff}, \quad T(t=0) = T_b. \quad (7)$$

$$q_{eff} = q_{ch} - q_{g,st} - q_w,$$

где $c_c \rho_c$ – средние значения удельной теплоемкости и плотности стальной частицы.

Уравнение (7) записано в предположении отсутствия градиента температуры по частице, т. к. коэффициент теплопроводности частицы значительно больше коэффициента теплопроводности воздуха ($Bi \ll 1$).

Плотность теплового потока излучением q_w , определяется законами Кирхгофа и Стефана-Больцмана, т.е. прямо пропорционально разности четвертых степеней температуры накаливаемой частицы и стенок судна:

$$q_w = \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4),$$

где ε – коэффициент черноты поверхности частицы.

Плотность мощности химического тепловыделения реакции q_{ch} окисления на поверхности частицы определим, используя (1) и (6), как:

$$q_{ch} = Q_0 W_0 = Q_0 \frac{D_v}{h} r_{gs} C_{O_2s} = Q_0 \frac{D_v}{h} r_{gs} C_{O_2s} (1 + Se_*)^{-1},$$

$$Se_* = \frac{\left(\frac{D_v}{h} - U_{sk} \right) \rho_{gs}}{\beta \rho_g} = Se(1 - C_{O_2}) /$$

Влияние естественной и вынужденной конвекции на тепловые и массовые потоки в системе учитывается приведенной пленкой r_f , толщина которой уменьшается с ростом относительной скорости движения частицы:

$$r_f = r_s (1 - 2 / Nu)^{-1}, \quad r_s = d / 2.$$

Для неподвижной частицы $Nu = 2$ и, следовательно, $r_f = \infty$.

Критерий Нуссельта Nu является функцией от чисел Прандтля Pr и Рейнольдса Re :

$$Nu = 2 + 0,6 Re^{1/2} Pr^{1/3},$$

$$Re = \frac{\omega d}{\nu_g}, \quad \nu_g = \frac{\lambda_g}{c_g \rho_g} Pr, \quad c_g = c_{go} + 0,18(T_* - T_0),$$

$$\rho_g = \rho_{go} \frac{T_0}{T_*}, \quad \lambda_g = \lambda_{go} \left(\frac{T_*}{T} \right)^n, \quad D_g = \frac{\lambda_g}{c_g \rho_g}, \quad T_* = \frac{T_{gs} + T_{g\infty}}{2}.$$

Здесь ω – относительная скорость движения, м/с; ν_g – кинематическая вязкость окружающей среды, м²/с; c_g – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг К); ρ_g , λ_g , D_g – плотность газа около частицы, коэффициенты теплопроводности газа и диффузии окислителя в газе; ρ_{go} , λ_{go} , c_{go} – соответствующие величины, взятые при температуре T_0 ; T_* – характерная температура, при которой определяются свойства газа.

Скорость движения металлической частицы под действием силы трения (при больших скоростях она преобладает) описывается уравнением:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = -\frac{3}{4} \Psi \frac{\rho_g d^2 \omega^2}{\rho_m d_m^3 + \rho_{ox} (d^3 - d_m^3)}, \quad \omega(t=0) = \omega_b, \quad (8)$$



где ω_b – начальная скорость частицы, м/с; коэффициент лобового сопротивления частицы Ψ зависит от Рейнольдса и в интервале $1 < Re < 400$ определяется по формуле Клячко:

$$\Psi = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt[3]{Re}}$$

Уравнения (4), (5), (7), (8) позволяют проанализировать влияние теплообмена излучением с холодными стенками на тепломассообмен и кинетику окисления металлической частицы при ее движении в холодном воздухе.

Анализ полученных данных. В качестве предмета исследования выбраны частицы железа, реагирующие с кислородом воздуха согласно уравнению $2Fe + O_2 \rightarrow 2FeO$. Образование старших окислов не рассматривается, ссылаясь на то, что при температурах $T > 843K$ окалина состоит преимущественно из оксида железа FeO. При расчетах использовались следующие данные [12]: $E = 124343$ Дж/моль, $D_{vo} = 0.118$ м²/с, $Q_o = 16.5 \cdot 10^6$ Дж/кгO₂, $\varepsilon = 0.89$, $c_c = 450$ Дж/(кг·K), $\rho_c = 7900$ кг/м³, $\lambda_{g0} = 0.024$ Вт/(м·K), $\rho_{g0} = 1.293$ кг/м³, $c_{g0} = 1005$ Дж/(кг·K), $T_0 = 273$ K, $C_{\infty} = 0.23$, $Pr = 0.7$.

Обычно предварительно нагретые металлические частицы до невысоких температур, когда они еще не светятся в видимом диапазоне, в воздухе комнатной температуры практически инертно охлаждаются. Естественно, в этом случае в начальный момент времени тепловыделение за счет протекающих химических реакций меньше теплоотвода от частицы. Для зажигания частицы в начальный момент времени необходимо превышения химического тепловыделения над суммарными теплопотерями, что возможно только при превышении начальной температуры частицы определенного критического значения. Именно это критическое значение начальной температуры и будем называть температурой зажигания. А соответствующий ей диаметр частицы – диаметром зажигания.

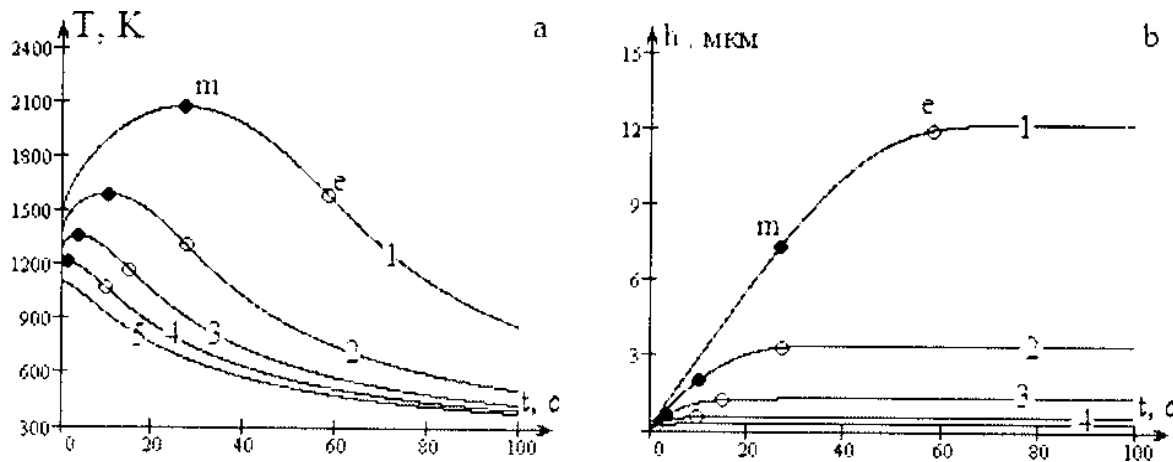


Рисунок 2 – Временные зависимости температуры частицы железа $d_b = 100$ мкм (а), толщины плотного оксида FeO (б) в воздухе комнатной температуры $T_g = T_w = 293$ K, $h_{b1} = h_{b2} = 0.1$ мкм, $C_{O_2\infty} = 0.23$ при различных начальных температурах частицы T_b : 1)1500 K; 2)1400 K; 3)1300 K; 4)1200 K; 5)1100 K

Таким образом, раскалённая частица при начальной температуре, меньшей температуры зажигания будет монотонно остывать (рис. 2а, кривая 5). В этом случае частица ведет себя практически как инертная, т. е. для остывания частицы необходимо, чтобы химическое тепловыделение было меньше теплоотвода.

Если начальную температуру частицы взять больше температуры зажигания (рис. 2а, кривые 1-3) то на начальном этапе ее температура с течением времени увеличивается. То есть, для зажигания необходимо, чтобы химическое тепловыделение было больше теплоотвода.



Очевидно, что за условие вынужденного зажигания металлической частицы нужно принимать условие равенства временной производной по температуре нулю.

Применив условие стационарности, несложно получить в аналитическом виде зависимость диаметра зажигания от начальной температуры (рис. 3). Проанализируем все стационарные решения задачи теплопроводности в виде зависимости диаметра частицы от стационарной температуры $d(T)$, применив условие стационарности $q_{eff}(T)=0$ (6), в виде:

$$d = h_b \frac{\lambda_g Nu}{Q_o C_o D_{vo} \rho_{gs}} \frac{T - T_g}{A \pm \sqrt{A^2 - A_g A_w (1 - C_a)}} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right). \quad (9)$$

$$A = \frac{1}{2}(1 - A_g(1 - C_a) - A_w + A_{st}), \quad A_g = \frac{c_g(T - T_g)}{Q_o C_o},$$

$$A_w = \frac{\varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4)}{Q_o C_o \frac{D_v}{h} \rho_{gs}}, \quad A_{st} = \frac{1}{2} \frac{U_{sk} c_g (T + T_g)}{Q_o \frac{d_v}{h} C_\infty} = \frac{c_g T_*}{Q_o}.$$

Величины A_g , A_w , A_{st} показывают относительную роль теплообмена молекулярным путем с газом, теплообмена излучением со стенками установки и стефановского течения по отношению к химическому тепловыделению, при протекании химической реакции в кинетической области.

Из формулы (9) видно, что при выборе малого размера частицы ее стационарная температура приближается к температуре газа.

Из рис. 3 видно, что в случае холодного воздуха, для размеров частиц, лежащих в интервале d_{b1} , d_{b2}) существуют три значения стационарной температуры. Наименьшее значение соответствует устойчивому низкотемпературному, а наибольшее – устойчивому высокотемпературному режиму окисления. Среднее значение стационарной температуры определяет неустойчивое стационарное состояние. Именно это значение стационарной температуры есть критическое значение начальной температуры частицы, при бесконечно малом увеличении которой наблюдается высокотемпературный режим окисления, а при уменьшении – низкотемпературный.

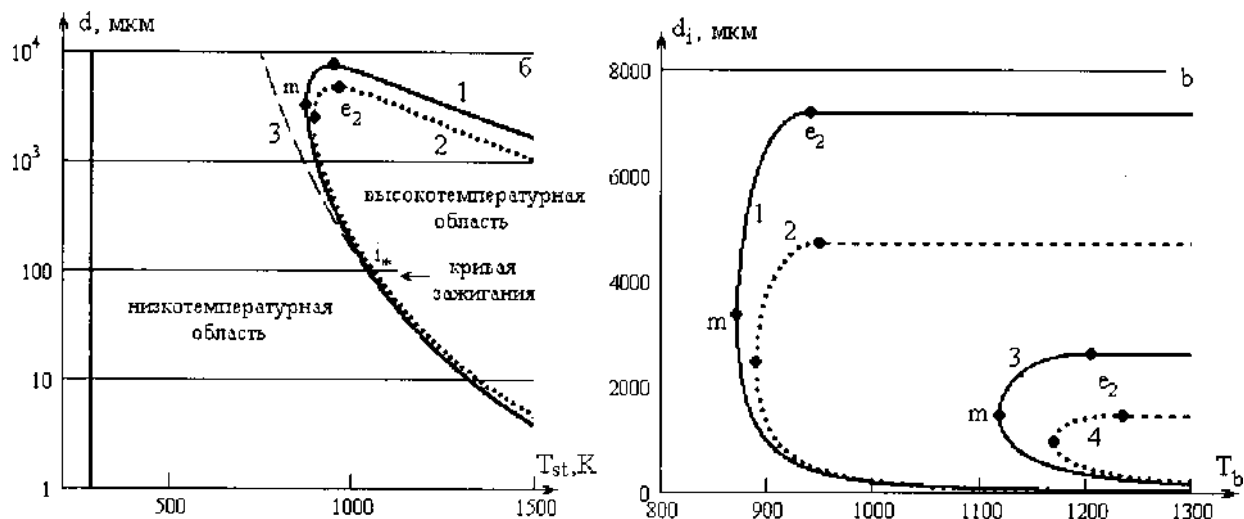


Рисунок 3 – а) зависимости значений диаметра частицы при $B = 0.1$ мкм от стационарной температуры частицы при $T_{go} = T_w = 293$ К, $C_{O_2\infty} = 0.23$: 1 – $U_s \neq 0$, $q_w \neq 0$; 2 – $U_s = 0$, $q_w \neq 0$; 3 – $U_s \neq 0$, $q_w = 0$. б) Зависимость диаметра зажигания от начальной температуры при $T_g = T_w = 293$ К, $C_{O_2\infty} = 0.23$: 1,3 – $U_{st} \neq 0$; 2, 4 – $U_{st} = 0$; 1, 2 – $h_b = 0.1$ мкм; 3, 4 – $h_b = 1$ мкм

Для размеров частиц, которые относятся к характерным размерам фрикционных искр, критическое значение температуры увеличивается с уменьшением диаметра. Объясняется данное положение тем, что с уменьшением размера частицы, увеличиваются



теплопотери с газом и поэтому для зажигания частицы необходимо повысить ее начальную температуру.

Теплообмен излучением обуславливает появление предела высокотемпературного окисления в области больших размеров. Влияние же на критическое значение начальной температуры их оказывается мало.

Диаметр зажигания частицы $d_{e1} < d_i < d_{min}$ уменьшается с ростом начальной температуры, что связано с относительным увеличением теплопотерь с газом (рис. 3б).

Для больших частиц, лежащих в интервале $d_{min} < d < d_{e2}$, основную роль в препятствии зажигания играют теплопотери излучением. Для таких частиц увеличение диаметра способствует относительному росту теплопотерь на излучение по сравнению с теплопотерями с газом молекулярно-конвективным путем. В тоже время к единице поверхности частицы приносится меньше кислорода. Это приводит к уменьшению химического тепловыделения. Поэтому для зажигания частицы большого диаметра ($d_{min} < d < d_{e2}$) необходимо поднять начальную температуру частицы (рис. 3). Именно учет теплопотерь на излучение приводит к появлению верхнего предела области зажигания по диаметру. Для этой области размеров диффузионно-кинетическое отношение в критических точках $Se > 1$, что говорит о важной роли массопереноса кислорода к поверхности. Стефановское течение способствует дополнительному притоку кислорода к единице поверхности частицы и уменьшению теплоотдачи от частицы. Это приводит к понижению для данного диаметра критического значения начальной температуры, а также к увеличению до 1.5 раз критического диаметра d_{e2} , определяющего верхний предел по диаметру области вынужденного зажигания металлической частицы в воздухе комнатной температуры.

Начальная температура частицы определяет не только условие зажигания частицы данного размера (рис. 2), но и влияет на время «жизни» фрикционной частицы и максимальную температуру горения.

На первой стадии (высокотемпературной стадии) толщины оксидных слоев практически линейно растут со временем (рис. 2б, кривые 1-3). Средняя скорость нарастания окислов существенна и имеет порядок 10-100 мкм/с. С нарастанием оксидной пленки растет диффузионное сопротивление движению ионов через оксидный слой. Температура частицы достигает максимального значения (т. **m**) и начинает уменьшаться. Длительность этой стадии (время высокотемпературного окисления) рассчитывается до т.е. Скорость роста окислов после точки **e** резко уменьшается на несколько порядков, что является признаком самопроизвольного погасания. Окисление металла продолжает протекать в кинетической области ($Se \ll 1$) и толщины окислов практически изотермически медленно растут.

Увеличение начальной температуры частицы при $T_b > T_{b,cr}$ приводит к росту максимальной температуры высокотемпературного окисления, толщин плотного и пористого оксидов и диаметра всей частицы, которое наблюдается в эксперименте. Высокая начальная температура частицы инициирует значительную скорость химической реакции, тепловыделение от которой дольше поддерживает окисление. С ростом начального диаметра частицы химическое тепловыделение уменьшается, что отражается на снижении температуры горения и скорости окисления, а, следовательно, к росту времени горения и снижению толщины окисла после погасания.

Стефановское течение приводит к существенному увеличению максимальной температуры горения, скорости химической реакции, времени высокотемпературного окисления, критических значений толщин окислов после самопроизвольного погасания. Влияние стефановского течения тем больше, чем больше начальная температура и меньше диаметр частицы.

Экспериментально наблюдаемые времена высокотемпературной стадии окисления частиц [5] согласуются с расчетными значениями. Так для частицы 100 мкм расчетные



времена горения при изменении начальной температуры от 1300 К до 1500 К изменялись от 15 до 60 мс. Частицы получают черного цвета, именно поэтому в качестве их коэффициента черноты выбран коэффициент излучательной способности оксида Fe_2O_3 равный 0.89. Меньшее значение коэффициента черноты дало бы завышенные значения максимальной температуры и времени высокотемпературного окисления металлической частицы, что расходится с экспериментальными данными.

В тоже время небольшие изменения кинетических параметров, например энергии активации (до 5 %), что характерно для частиц различных сталей, приводит к существенным изменениям температур и времен горения металлических (стальных) частиц.

Исследуем роль различных процессов в момент достижения максимальной температуры и в момент самопроизвольного потухания при различных начальных толщинах плотного оксида. Следует обратить внимание на то, что в высокотемпературной стадии на скорость химической реакции оказывает влияние диффузия кислорода в газовой фазе ($Se_m > 0.1$), а после потухания – окисление лимитируется диффузией металла через слой оксида ($Se_e < 0.1$).

Естественно с ростом начальной толщины плотного оксида, вследствие уменьшения тепловыделения, уменьшается максимальная температура горения. Как результат, понижаются время высокотемпературного окисления и значения толщин окислов после самопроизвольного потухания (табл. 1).

Таблица 1 – Выяснение роли различных механизмов $h_b = 0.1$ мкм, $T_g = T_w = 239$ К, $Ca = 0.23$, $\omega_b = 10$ м/с

	точки	q_w' кВт/м ²	T, K	$d,$ мкм	$h,$ мкм	$t, мс$	Se	$\omega,$ м/с	q_{ch} кВт/м ²	q_w кВт/м ²	q_g кВт/м ²
$d_b = 100$ мкм $T_b = 1300$ К	т. м	$q_w = 0$	1371	100.8	0.8	4.5	0.28	8.8	2160	0	2160
		$q_w \neq 0$	1356	100.7	0.6	3.4	0.31	9.1	2300	170	2130
	т. е	$q_w = 0$	1170	100.8	0.8	4.5	0.03	8.8	250	0	1605
		$q_w \neq 0$	1165	101.0	1.2	14.9	0.03	6.7	280	90	1625
$d_b = 100$ мкм $T_b = 1400$ К	т. м	$q_w = 0$	1990	107.8	9.9	50.9	0.51	2.7	2905	0	2905
		$q_w \neq 0$	1590	101.8	2.0	9.9	0.41	7.6	2880	320	2560
	т. е	$q_w = 0$	1525	110.8	14.7	94.0	0.06	1.1	365	0	1715
		$q_w \neq 0$	1305	402.9	3.3	27.1	0.05	4.9	370	^ 145	1800
$d_b = 200$ мкм $T_b = 1300$ К	т. м	$q_w = 0$	1365	201.2	1.2	12.4	0.28	8.9	1295	0	1295
		$q_w \neq 0$	1350	201.0	0.9	8.4	0.32	9.3	1435	165	1270
	т. е	$q_w = 0$	1170	202.2	2.4	54.0	0.03	6.3	150	0	965
		$q_w \neq 0$	1170	201.8	2.0	41.6	0.04	7.0	180	95	990
$d_b = 200$ мкм $T_b = 1400$ К	т. м	$q_w = 0$	1640	204.3	4.9	46.0	0.37	6.7	1545	0	1545
		$q_w \neq 0$	1520	202.1	2.3	18.1	0.41	8.5	1740	270	1470
	т. е	$q_w = 0$	1330	206.8	8.0	120.5	0.04	3.9	185	0	1025
		$q_w = 0$	1275	203.7	4.2	63.0	0.05	5.9	230	135	1075

В точке максимальной температуры, где выполняется условие стационарности, химическое тепловыделение довольно существенное, основную роль в тепловых потерях для частицы 100 мкм составляют тепловые потери с газом. Однако и тепловыми потерями излучением пренебрегать не стоит, которые составляют от 10 до 30 % от тепловых потерь с газом при



различных начальных температурах. Вклад стефановского течения еще меньше, чем теплопотерь излучением, но как было показано ранее, его влияние на параметры высокотемпературного окисления может быть существенным.

В момент самопроизвольного потухания химическое тепловыделение становится в 4-6 раз меньше теплопотерь с газом, однако приблизительно в 2 раза преобладает над теплопотерями излучением. Из-за достаточно низкой температуры вклад стефановского течения пренебрежимо мал.

Анализ значений температур, диаметра частицы и толщины оксидного слоя числа Семенова в высокотемпературной стадии и при самопроизвольном потухании, показал, что теплопотери излучением оказывают заметное влияние на характеристики высокотемпературного окисления (температуру горения, время высокотемпературной стадии, толщина оксида при потухании и др.) только при высоких температурах. Их не учет приводит к значительному повышению температуры и времени высокотемпературной стадии, толщины оксидного слоя при потухании. Для оценки роли теплопотерь излучением часто используют критерии Блошенко-Хайкина:

$$k_r = \frac{\varepsilon \sigma T^4}{\alpha \frac{RT^2}{E_1}} = \frac{\varepsilon \sigma T^2 E_1}{\lambda_g Nu R} d,$$

который при определении его при температуре частицы $T=T_b=1500$ К равен 1.43, а при $T=T_b=1000$ К уже 0.81. Для сравнения критерий Блошенко-Хайкина при $T=2000$ К равен 2.41.

Это говорит о достаточно существенном влиянии теплопотерь излучением для частицы 100 мкм при температурах выше 1000 К. С ростом диаметра вклад теплового излучения в общие теплопотери растут.

Выводы. В результате исследований показано, что учет теплопотерь излучением для характерных размеров фрикционных искр необходим для оценки пожарной опасности накаливаемых стальных частиц при зажигании горючих веществ, в частности паровоздушных смесей ЛВЖ. Установлено, что теплопотери излучением приводят к существенному понижению температуры частицы ниже уровня зажигания паровоздушных смесей ЛВЖ. При этом времена «жизни» частиц понижаются до экспериментально наблюдаемых. С ростом начальной температуры и уменьшением диаметра накаливаемой стальной частицы этот эффект усиливается.

Перспективы дальнейшего исследования. В связи с тем, что наиболее накаливаемые стальные частицы с характерными размерами фрикционных искр достаточно легко разогнать до высоких скоростей, важной задачей остается анализ влияния скорости их движения на уровень достигаемых температур и времена «жизни».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розловский А. И. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами / А. И. Розловский – М. : Химия, 1980. – 376 с.
2. Взрывобезопасность электрических разрядов и фрикционных искр / Под ред. В. С. Кравченко. – М. : Недра, 1976. – 76 с.
3. Иващенко П. Ф. Исследование механизма искрообразования и поджигающей способности фрикционных искр / П. Ф. Иващенко, В. А. Меньшаков, В. И. Толчинский // Взрывоопасность в строительстве. – М. : МИСИ, 1983. – С. 34-44.
4. Условия поджигания металлами, диспергированными фрикционным способом, взрывобезопасных паровоздушных смесей / [В. А. Федосеев, Л. Ю. Леонова, В. В. Курятников, Л. А. Статина] // Физика аэродисперсных систем. – 1979. – № 22. – С. 29-33.
5. Леонова Л. Ю. Определение температуры и кинетических характеристик частиц стали, диспергированной фрикционным способом / Л. Ю. Леонова,



В. В. Курятников, Я. Н. Спиридонов // Физика аэродисперсных систем. – 1981. – Т. 21. – С. 80-84.

6. Кузнецов Г. В. Численное решение задачи воспламенения жидкого пожароопасного вещества одиночной «горячей» частицей / Г. В. Кузнецов, П. А. Стрижак // Физика горения и взрыва. – 2009. – Т. 45, № 5. – С. 42-50.

7. Буркина Р. С. Высокотемпературное зажигание реакционноспособного вещества горячей инертной частицей с конечным запасом тепла / Р. С. Буркина, Е. А. Микова // Физика горения и взрыва. – 2009. – Т. 45, № 2. – С. 40-47.

8. Калинин В. В. К стационарной теории гетерогенного воспламенения и потухания частицы в нагретом газообразном окислителе / В. В. Калинин, С. Г. Орловская // Инженерно-физический журнал. – 1988. – Т. 55, № 2. – С. 232-236.

9. Калинин В. В. Время зажигания паровоздушных легковоспламеняющихся жидкостей фрикционными искрами / В. В. Калинин, М. М. Краснянский, Ю. М. Михель // Физика аэродисперсных систем. – 1983. – № 32. – С. 69-73.

10. Калинин В. В. Высокотемпературный теплообмен и стефановское течение на поверхности предварительно нагретой металлической частицы в холодном воздухе / В. В. Калинин, А. С. Черненко // Теплофизика высоких температур. – 2009. – Т. 47, № 3. – С. 1-10.

11. Pilling N. V., Bedworth R. E. J. Inst. Met., 1923, v. 1, – p. 529.

12. Хауффе К. Реакции в твердых телах и на их поверхности / К. Хауффе: [пер. с нем.]. – М. : Изд-во иностр. лит., 1962. – 382 с.

Селіванов С.Є., Тригуб С.М., Калинин В.В., Черненко О.С. ВПЛИВ ТЕПЛОВТРАТ ВИПРОМІНЮВАННЯМ НА ЗАПАЛЮЮЧУ ЗДАТНІСТЬ СТАЛЕВИХ НАПРУЖЕНИХ ЧАСТОЇ ПАРОВОПІТРЯНИХ СУМІШЕЙ ЛЕГКОЗАЙМИСТИХ РІДИН НАЯВНИХ НА СУДНІ

У роботі розглядається небезпека напружених сталевих часток, що утворюються при зварюванні абі терті, які в подальшому здатні підпалити пароповітряні суміші легкозайmistих рідин, перевезені на судах. Проведений аналіз впливу тепловтрат випромінюванням на максимальну температуру й час «життя» напруженої сталеві частки, що перебуває в пароповітряній суміші легкозайmistих рідин залежно від початкових умов, а саме: температури й діаметра частки, товщини оксидного шару.

Ключові слова: легкозайmistі рідини, пожежа, напружені сталеві частки, час «життя», температура, діаметр частки.

Selivanov S.E., Trigub S.N., Kalinchak V.V., Chernenko A.S. TEMPERATURE LOSS RADIATION INFLUENCE ON LIGHTING ABILITY OF STRAINED STEEL PARTICLES OF VAPOUR-AIR MIXTURES OF INFLAMMABLE LIQUIDS AVAILABLE ON THE VESSEL

An article deals with dangers represented by strained steel particles formed as a result of welding or friction that are capable of setting on fire vapour-air mixtures of inflammable liquids transported aboard. Analysis on the influence of temperature loss by means of radiation on maximum temperature and life span of a strained steel particle in a vapour-air mixture of inflammable liquids is carried out depending on initial conditions, which are temperature and diameter of a particle, thickness of oxide layer.





ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ



СТОХАСТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЯВЛЕННЯ МОМЕНТУ ПРИПИНЕННЯ ТРЕНУВАНЬ АВІАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ

Борсук С.П.

Національний авіаційний університет, м. Київ

Враховуючи незвичайно високий рівень статистичної невизначеності аварійних ситуацій, під час тренажерної підготовки авіаційних операторів переднього краю запропоновано виявляти резерв тренувань за допомогою стаціонарної стохастичної моделі їх припинення. Модель будується на основі чисельних показників стохастичного процесу професійної підготовки. Із математичного опису процесу підготовки виділено дві детерміновані (постійний середній рівень стохастичного показника успішності та показник особистих властивостей оператора) та одну суто стохастичну складову (дійсне відхилення випадкової величини).

Ключові слова: авіаційні оператори, стаціонарні стохастичні моделі підготовки, тренування на тренажерах, момент припинення підготовки.

Вступ. Рівень професійної підготовки (ПП) авіаційних операторів (АО) переднього краю (авіадиспетчерів, пілотів) впливає на час між підтвердженням їх кваліфікації та інші особливості їх роботи. Початкове визначення досягнутого рівня ПП дозволить ще на етапі навчання або перекваліфікації спланувати майбутні умови роботи колективу, як малої групи АО (льотний екіпаж, диспетчерська зміна), а також зменшить кількість часу витраченого на перекваліфікацію із збереженням якості підготовки. Так само, під час поточної роботи на тренажері визначення точки припинення тренування дозволить оперативно вносити зміни у розклад занять окремих АО та їх груп, що оптимізує суцільний процес навчання за рахунок звільнення ресурсів часу, фінансових витрат, тощо.

З іншого боку, програми тренажерної підготовки (ТП) АО є типовими і мають чітко визначений зміст, де встановлений відсоток тренувань в нормальних і особливих випадках польоту, а також характер і детальний опис цих випадків, що імітуються під час тренувань. Наведене позбавляє програми особистісно-орієнтованого змісту і може навіть знизити мотивацію АО на опанування додатковим обсягом знань, вмінь та навичок (ЗВН). Адже дійсно, незвичайно простий тренажер початкового навчання ТПО Як-18Т дозволяє імітувати 18 відмов цього повітряного судна (ПС). Якщо ці відмови вводити під час тренувань у різних кількісних сполученнях і в різній послідовності (варіативність етапів польоту не розглядаємо для простоти обчислень), то загальна кількість різноманітних аварійних ситуацій (АС), які можна відпрацьовувати на тренажері, обчислюється таким чином [1, 2]:

$$N = e \prod_{m=1}^n P_m C_n^m, \quad (1)$$

де $n = 18$ – кількість відмов, що моделюються на тренажері; m – кількість відмов в серії; P_m – перестановки m відмов, що визначають послідовність їх вводу; C_n^m – сполучення m з n відмов.

Тоді, застосовуючи (1), отримуємо астрономічне число теоретично можливих АС:

$$N = e \prod_{m=1}^{n=18} P_m C_{18}^m = 1,75 \times 10^{16}. \quad (2)$$

Понизити цю статистичну невизначеність вдалося таким чином [3-10]:

- систематизацією АС по спеціальних групах по певних ознаках;
- урахуванням практичної вирішуваності АС, що моделюється;
- урахуванням природно-логічного розвитку АС;
- урахуванням психофізіологічної можливості екіпажа ПС подолати наслідки

відмов;



– організацією тренування тільки в таких АС, які не можуть бути змодельовані на інших (простіших спеціалізованих) тренажерах.

Тільки за рахунок систематизації відмов по трьом групам вдалося понизити попередню невизначеність в $1,76 \times 10^{10}$ разів:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 = e_{m_1=1}^{n_1=6} P_{m_1} C_6^{m_1} + e_{m_2=1}^{n_2=9} P_{m_2} C_9^{m_2} + e_{m_3=1}^{n_3=3} P_{m_3} C_3^{m_3} = 988380. \quad (3)$$

Але ж навіть такий результат вказує, що пілотів може просто не вистачити «льотного життя» для відпрацювання теоретично можливих АС. Проблема набуває суттєвішої значущості, тому що згідно вимог ІКАО (міжнародна організація цивільної авіації, членом якої є Україна) сертифікований тренажер за своїми технічними показниками має імітувати щонайменше 200 відмов ПС [11], що робить астрономічні числа (2), (3) ще більш статистично невизначеними. І тим більш актуальним стає завдання чіткого визначення моменту припинення тренувань задля гармонізації процесу ТП шляхом відпрацювання додаткових до типової програми АС. Саме на такі цілі спрямована розробка відповідної моделі, що планується зробити у цій статті.

Актуальність та постановка задачі. Створення моделі виявлення моменту припинення тренувань містить в собі протиріччя, без розгляду якого неможливо в повному обсязі усвідомити поставлене завдання. З одного боку модель має передбачати зростання рівня ПП АО із часом [12, 13], спираючись на попередні показники його успішності, що по суті є детермінованою складовою. З іншого боку АО, який є центральним елементом в системі навчання, по суті є джерелом невизначеності у системі «людина – машина» [14], а отже можливість створення детермінованої моделі знаходиться під певним сумнівом. У зв'язку з цим робиться спроба використання стохастичної стаціонарної моделі [15], що дозволяє працювати із стохастичними даними, які, як правило, зводяться до певного середнього значення [16]. Тому модель буде прогнозувати не точне значення рівня ПП АО, але можливий діапазон цього рівня.

Стохастичне моделювання процесу навчання відоме достатньо давно (наприклад, моделі Халла [17]), причому більшість сучасних моделей використовує експоненційні закони [18, 19]. Також важливо відмітити, що більшість моделей стосуються рівня ПП, як ймовірності відтворення опанованих ЗВН, у той час, як розроблювана модель має описувати момент припинення тренування після досягненні визначених умов.

Тому, виходячи з наведеного **метою** роботи є аналіз стохастичних моделей та їх застосування у процесі ПП АО. На базі моделі, яка описує окремо стохастичну та детерміновану складові процесу опанування ЗВН необхідно розробити єдиний інтегральний показник-критерій, за яким можна робити висновки щодо процесу навчання АО.

Результати досліджень. Існує три основні стаціонарні стохастичні моделі випадкових процесів. *Модель лінійної фільтрації* передбачає наявність, так званого, «білого шуму» a_t , який перетворюється у процес z_t за допомогою фільтру. Фільтрація у даному випадку – це обчислення зваженої суми попередніх спостережень. *Модель авторегресії* обчислює поточне значення процесу, як кінцеву лінійну суму його попередніх значень та імпульсу a_t . *Модель ковзного середнього* визначає \tilde{z} , як лінійно залежне від кінцевої суми попередніх a . Застосування цих моделей у незмінному вигляді неможливе, оскільки усі моделі передбачають стаціонарний процес, як процес, що має сталі середні значення.

Слід відмітити важливу особистість стаціонарності будь-якої моделі, що має відношення до процесу надбання ЗВН. Відповідно до більшості моделей, крива навчання, що описує кількість опанованих ЗВН із часом, має експоненційну природу (рис. 1).

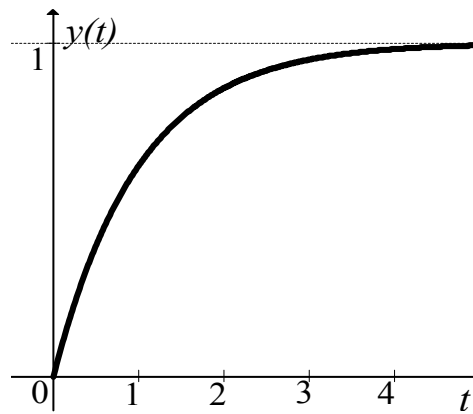


Рисунок 1 – Крива навчання

Із плином часу міцність ЗВН, або ймовірність його безпомилкового відтворення асимптотично прямує до 1. Таким чином, слід зважати на стаціонарність моделі відносно нелінійної функції.

Як відомо, показники стаціонарного стохастичного процесу (ССП) можна подати у вигляді:

$$z_t = \mu + \Delta_t, \quad (3)$$

де z_t – показник процесу; μ – постійний середній рівень (тренд); Δ_t – випадкове відхилення процесу у час t .

Приймаючи $\mu = 0$ в ідеальному випадку отримуємо:

$$\sum_{t \rightarrow \infty} \Delta_t = 0.$$

Якщо прийняти, що функція $y(t)$ відповідає графіку на рис. 1, то ССП відносно надбання ЗВН можна подати у нормованому вигляді:

$$\hat{z}_t = \frac{\mu}{y(t)} + \frac{\Delta_t}{y(t)}.$$

Прийнявши до уваги, що μ є незмінним середнім рівнем ССП надбання ЗВН та співпадає із функцією $y(t)$ без випадкової складової, а отже $\mu = y(t)$, показник нормованого ССП надбання ЗВН дорівнює:

$$\hat{z}_t = 1 + \frac{\Delta_t}{y(t)},$$

тобто описує ССП відносно середнього рівня 1.

ППі АО вимагає застосування досить складного програмно-апаратного забезпечення по багатьох причинах [20]. Основною з них є неможливість проведення тренувань на реальному обладнанні, робота якого пов'язана з безпекою польотів (БП), тому некоректне виконання інструкцій може привести до авіаційної пригоди (АП) або навіть катастрофи. Саме по собі ППі характеризується виконанням навчальних вправ на тренажері із реєстрацією якісних показників. Залежно від типу навчальної вправи ці показники можуть мати різну природу, тобто визначатися проміжками часу, частотою, складністю, або іншим шляхом. У будь-якому випадку в результаті виконання тренувальної вправи АО виставляється оцінка за якою визначається рівень його поточної успішності.

У простому узагальненому вигляді успішність ППі приймає значення x , на інтервалі $[X^-; X^+]$, де X^- найменша, а X^+ відповідно найбільша можлива оцінка згідно шкали, що була прийнята. Діапазон оцінок $[X^-; X^+]$ може містити n ключових значень,



які ділять його на $n + 1$ інтервалів. Вхідження оцінки x в один із інтервалів визначить зведену оцінку АО за виконання тренувальної вправи. І виходячи з того, що особисті професійні властивості кожного АО відрізняються, можна зробити висновок, що параметри моделі їх навченості будуть відрізнятися.

У роботі [21] показано, що здебільшого тренування АО на тренажері не надає значного зростання рівня навченості вже після 10-ти тренажерних годин. І зменшенням зростання рівень ПП АО досягає рівня його домагань, який відіграє як критеріальну, так і мотиваційну функцію, що може призвести навіть до зниження рівня навченості. При цьому під рівнем домагань в контексті наших досліджень, орієнтуючись на [9, 22, 23], будемо розуміти такий рівень ПП АО, котрий надає йому найбільший приріст корисності (задоволення). Отже, можна зробити висновок, що існує також показник часу t , який має впливати на інтегральний показник припинення тренування I , у якості обмеження. Тоді I можна подати так:

$$I = f(z_i, t)$$

для кожного контрольованого елемента ПП АО. Це загальна форма інтегрального показника, від якого залежить припинення тренування АО.

Припинення тренування – це результат прийняття рішення щодо того, що ЗВН АО досягли необхідного рівня, і його можна допустити до подальшої роботи на реальному робочому місці. В загальному випадку припинення ТП відбувається за декількох причин:

- закінчення терміну тренування;
- закінчення навчальної програми;
- досягнення АО необхідного рівня ЗВН;
- досягнення визначеного рівня домагань;
- досягнення інтегрального показника припинення тренування ключового значення.

У випадку ТП АО слід розрізняти припинення тренування із задовільними результатами та його невдале припинення. Оскільки авіаційна галузь, враховуючи вимоги забезпечення БП, вимагає зведення помилок до нуля, ключовим моментом при визначенні задовільності результату тренувань є рівень ПП АО. Виділивши із списку причин ключові складові, їх стан на момент закінчення АО ТП можна показати табл. 1.

Таблиця 1– Ключові складові процесу професійної підготовки авіаційних операторів та їх стан

<i>№ з.п.</i>	<i>Складова</i>	<i>Стан складової</i>
1	Термін тренування	Не більше визначеного
2	Прослуханий матеріал	Повністю
3	Рівень ЗВН	Не нижче за бажаних

Оскільки інтегральний показник спирається на показники часу та успішності, його не внесено до табл. 1, з якої витікає, що опанування АО ЗВН може бути визнаним успішним, якщо він пройшов повний курс ПП та отримав задовільну (прохідну) оцінку раніше за потрібне. І інтегральний показник припинення тренування має враховувати цю можливість. Також потрібне урахування відношення витраченого часу до максимального часу тренувань [20]. Приймемо t_0 за нормований час, а t_s – за реально витрачений.

Частка опанованих ЗВН має дорівнювати $n = 100\%$ для виставлення задовільної оцінки АО. Для урахування об'єму опанованих ЗВН найкраще підходить параметр λ бінарної природи, чіє значення визначається так:

$$\lambda = \begin{cases} 1, n = 100\% \\ 0, n = [0\%, 99\%] \end{cases}$$



Тоді формула інтегрального показника прийматиме вигляд

$$I = f(\lambda, z_t, t_0, t_s).$$

Оскільки кількість інформації протягом терміну ПП є сталою величиною, можна стверджувати, що у певний час $t = \tau = t_0$ згідно ідеального експоненційного закону АО матиме $z_t(\tau) = X^+$.

Нехай для затвердження задовільного рівня опанування ЗВН АО необхідне продемонструвати рівень показника $z_t(\tau) \geq aX^+$ ($a = (0,1)$). Тоді для АО які витратили τ часу інтегральний показник ПП має вигляд

$$I = \lambda z_t(\tau), (t_s = \tau; z_t \geq aX^+).$$

Для АО, які незадовільно пройшли ПП, немає різниці, наскільки погано вони опанували ЗВН. Для них справедливе введення наступної умови

$$I = \begin{cases} \lambda z_t(\tau), (t_s = \tau; z_t \geq aX^+) \\ 0, (t_s = \tau; z_t < aX^+) \end{cases}. \quad (4)$$

Вважаючи, що незмінна складова $\mu = x(t)$, ми припускаємо, що АО демонструє рівень опанування ЗВН, що описується ідеальним експоненційним законом. В реальності кожен з АО має особисті, властиві тільки йому когнітивні риси, які впливають на процес ПП. Тобто для кожного АО μ не дорівнюватиме ідеальному значенню, а матиме місце невелика різниця у показнику. Виділивши цю різницю матимемо її, як показник особистих властивостей АО відносно ідеального закону.

Залишимо $\mu = y(t)$ та виділимо показник із випадкової складової. Очевидно, що випадкова складова $\frac{\Delta_t}{y(t)}$ може приймати як додатні, так і від'ємні значення залежно від Δ_t . І оскільки стаціонарний процес характеризується наближенням його показника до сталого значення, то Δ_t у кожному випадку буде демонструвати не тільки відхилення випадкової величини, але й показник особистих професійних властивостей АО. Виділити цей показник можна за наступним алгоритмом.

Нехай $\frac{\Delta_t}{y(t)} = \frac{\Delta_{ic}}{y(t)} + \frac{\Delta_{iv}}{y(t)}$, де Δ_{ic} – показник особистих властивостей АО, а Δ_{iv} – дійсне відхилення випадкової величини. Тоді, маючи низку показників для кожного моменту часу t матимемо $\frac{\Delta_t(t)}{y(t)} = \frac{\Delta_{ic}(t)}{y(t)} + \frac{\Delta_{iv}(t)}{y(t)}$, де $\Delta_{ic}(t) = const$, а $\Delta_{iv}(t)$ довільно змінюється.

За визначенням стаціонарності процесу:

$$\sum_{t \rightarrow \infty} \Delta_{iv}(t) = 0,$$

а отже:

$$\Delta_{ic}(t) = \frac{\sum [\Delta_t(1), \dots, \Delta_t(t)]}{t},$$

тобто, має місце звичайне середнє арифметичне.

Базуючись на значеннях $\Delta_{ic}(t)$ можна зробити висновок про дострокове припинення тренування АО за встановленою програмою ПП і переходу на індивідуально-



орієнтовану ПП по завданням підвищеної складності, якщо це дозволяється програмою підготовки. Розглянувши ряд значень $\frac{\Delta_{ic}(t)}{y(t)}$ при $t=1,2,3\dots$ можна виділити декілька груп АО. Прийmemo:

$$\Delta^+ = \frac{\sum \begin{cases} 1, \Delta_{ic}(t+1) \geq \Delta_{ic}(t) \\ 0, \Delta_{ic}(t+1) < \Delta_{ic}(t) \end{cases}}{t},$$

Перша група характеризується відсутністю плато та спадаючих відрізків на графіку показника ССП надбання ЗВН. Для цієї групи характерна умова:

$$\Delta^+ = 1.$$

Друга група характеризується наявністю невеликої кількості плато та спадаючих відрізків на графіку показника ССП надбання ЗВН. Для цієї групи:

$$\Delta^+ = [0,9; 0,75].$$

Третя група характеризується частою наявністю плато та спадаючих відрізків на графіку показника ССП надбання ЗВН. У третю групу входять АО для яких

$$\Delta^+ = [0,75; 0,5].$$

У четвертій групі наявність плато та спадаючих відрізків на графіку показника ССП надбання ЗВН постійна або переважає. Для цієї групи

$$\Delta^+ = [0; 0,5].$$

Для АО, які досягли бажаного рівня $z_i(t)$ навчання може бути завершеним за умови, якщо $\Delta^+ = 1$ або $\Delta^+ = [0,9; 0,75]$. Тоді формула інтегрального показника (4) прийматиме вигляд:

$$I = \begin{cases} \lambda z_i(\tau), (t_s = \tau; z_i \geq aX^+) \\ \lambda z_i(\tau), (t_s < \tau, z_i \geq aX^+, \Delta^+ > 0.75), \\ 0, (t_s = \tau, z_i < aX^+) \end{cases} \quad (5)$$

що і є його остаточним виглядом. Даний показник враховує час навчання, кінцевий рівень ЗВН, повноту опанування програми тренувань та у випадку виходу АО на бажаний рівень успішності може запропонувати дострокове закінчення ПП залежно від динаміки рівня успішності.

Висновки. На основі інформації про стохастичні стаціонарні моделі та моделі ПП АО було розроблено стохастичну модель припинення процесу тренувань для АО. При цьому важливим внеском у моделювання процесу ПП є виділення із стохастичного показника успішності АО його подвійної стаціонарної складової: постійного середнього рівня та показника особистих властивостей АО.

Зважаючи на універсальність моделі, вона може бути використаною для будь-якої галузі, де використовуються тренажери та тренажерні комплекси із внесеними змінами відповідно до специфіки.

Подальшим розвитком моделі може бути урахування особистих психофізіологічних властивостей АО, урахування взаємних впливів при колективному тренуванні та урахування наявності інших форм ідеальної функції показника ПП при визначенні складових показника успішності.



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Беккер П. Проектирование надежных радиоэлектронных схем / П. Беккер, Ф. Йенсен. – М. : Советское радио, 1977. – 157 с.
2. Дарымов Ю. П. О выборе особых ситуаций для тренировки экипажей ВС на комплексном тренажере / Ю. П. Дарымов, В. В. Перепечаев // Методы и средства профессионально-прикладной и психофизиологической подготовки летного и диспетчерского состава гражданской авиации: межвуз. сб. науч. тр. – Л. : ОЛАГА, 1979. – С. 31-33.
3. Рева А. Н. Эргономические аспекты ввода отказов функциональных систем самолета на тренажере / В. Е. Поляков, А. Н. Рева // Эргономика и труд в гражданской авиации : сб. науч. тр. – К. : КИИГА, 1984. – С. 45-48.
4. Рева А. Н. Вопросы оптимизации процессов контроля и управления подготовкой летного состава к действиям в особых случаях полета / А. Н. Рева, В. Д. Михайлов // Безопасность и эффективность эксплуатации воздушного транспорта : тез. докл. IV Всесоюз. науч.-практ. конф. по безопасности полетов. Секция 2. Отбор и подготовка авиационных специалистов, (Ленинград, 9-11 окт. 1985 г.). – Л. : ОЛАГА, 1985. – С. 41.
5. Рева А. Н. Оптимизация профессиональной деятельности инструктора авиационного тренажера : науч.-практ. реком / А. Н. Рева, В. А. Горячев, В. А. Кузнецов и др. ; под ред. А. Н. Ревы, В. А. Бодрова. – М. : ИПАН, 1990. – 125 с.
6. Рева А. Н. Экспертиза учебных заданий для подготовки курсанта-пилота к действиям в особых случаях полета / А. А. Комаров, А. Н. Рева, К. М. Тумышев // Обеспечение безопасности полетов при летной эксплуатации воздушных судов : сб. науч. тр. – К. : КИИГП, 1993. – С. 84-90.
7. Рева А. Н. Эргономические методы и средства тренажерной подготовки летного состава : науч.-практ. реком. / [А. Н. Рева, А. А. Комаров, В. А. Кузнецов и др. ; под ред. А. Н. Ревы, М. И. Рубца]. – Кировоград : ГЛАУ, 1995. – 106 с.
8. Рева А. Н. Эргономика первоначальной профессиональной подготовки пилотов : монография / А. Н. Рева, К. М. Тумышев. – Алматы, 2000. – 272 с.
9. Рева А. Н. Человеческий фактор и безопасность полетов : Проактивное исследование влияния : монография / А. Н. Рева, К. М. Тумышев, А. А. Бекмухвмбетов ; науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумышев. – Алматы, 2007. – 242 с.
10. Рева О.М. Проблеми формування у пілота навичок долання наслідків відмов авіаційної техніки в режимі синхронного генератора / О. М. Рева, С. О. Дмитрієв, О. М. Дмитрієв // Авіаційно-космічна техніка і технологія : наук.-техн. ж. – Харків : Харківський національний аерокосмічний університет «ХАІ», 2009. – № 2. – С. 97-102.
11. Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulators. 2nd edition: Doc. ICAO 9625. – Montreal, Canada, 2003. – 90 p.
12. Чуев Ю. В. Прогнозирование количественных характеристик процессов / Ю. В. Чуев, Ю. Б. Михайлов, В. И. Кузьмин. – М. : Советское радио, 1975. – 400 с.
13. Рева А. Н. Модель подготовки и прогнозирования уровня обученности пилотов / А. Н. Рева, В. Д. Михайлов // Проблемы применения технических средств в формировании профессиональных навыков при первоначальной подготовке летного состава : тез. докл. Всесоюзн. науч.-практ. Конф, (Актюбинск, 11-12 декабря 1986 г.) – Актюбинск : АВЛУГА, 1986. – С.11-12.
14. Адомиан Дж. Стохастические системы : научное издание / Дж. Адомиан. – М. : Мир, 1987. – 376 с.
15. Бокс Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс ; под ред. В. Ф. Писаренко. – Кн. 1. – М. : Мир, 1974. – 406 с.
16. Гардинер К. В. Стохастические методы в естественных науках / К. В. Гардинер. – М. : Мир, 1986. – 526 с.



17. Буш Р. Стохастические модели обучаемости / Р. Буш, Ф. Мостеллер. – М. : Физматгиз, 1962. – 483 с.
18. Введение в эргономику / [Г. М. Зараковский, Б. А. Королев, В. И. Медведев, П. Я. Шлаен; под ред. В. П. Зинченко]. – М. : Советское радио, 1974. – 352 с.
19. Новиков Д. А. Закономерности итеративного научения / Д. А. Новиков. – М. : ИПУ РАН, 1998. – 600 с.
20. Borsuk S. P. Adaptation of trainers: Monograph / S. P. Borsuk. – К. : NAU, 2012. – 128 p.
21. Андреев С. М. Оцінка рівня професійної підготовки льотного складу при початковому навчанні : Автореф. дис... канд. техн. Наук : 05.01.04. – Харківський держ. технічний ун-т будівництва та архітектури. – Харків, 1999. – 17 с.
22. Козелецкий Ю. Психологическая теория решений : пер. с польск. Г. Е. Минца, В. Н. Поруса / под ред. Б. В. Бирюкова. – М. : Прогресс, 1979. – 504 с.
23. Рева О. М. Людський фактор та безпека польотів : рівень домагань авіадиспетчерів у професійній діяльності / О. М. Рева, Г. М. Селезньов // Створення системи забезпечення психологічної та психофізіологічної надійності персоналу. Організація та проведення психофізіологічної роботи в органах внутрішніх справ України : м-ли III Всеукр. наук.-практ. семін. – К. : КЮІ МВС України, 2005. – С. 121-128.

Борсук С.П. СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА ПРЕКРАЩЕНИЯ ТРЕНИРОВКИ АВИАЦИОННЫХ ОПЕРАТОРОВ

Учитывая необычайно высокий уровень статистической неопределённости аварийных ситуаций, во время тренажёрной подготовки авиационных операторов переднего края предложено определять резерв тренировок при помощи стационарной стохастической модели их прекращения. Модель построена на основе численных показателей стохастического процесса профессионально подготовки. Из стохастического процесса обучения выделено две детерминированных (постоянный средний уровень стохастического показателя успеваемости и показатель личных свойств оператора) и одну исключительно стохастическую составляющую (действительное отклонение случайной величины).

Ключевые слова: авиационные операторы, стационарные стохастические модели подготовки, тренировка на тренажёрах, момент прекращения подготовки.

Borsuk S.P. STOCHASTIC MODELING OF FLIGHT CONTROLLERS TRAINING PROCESS TERMINATION

Taking into account unusually high level of emergencies statistic ambiguity, training reserve of first-line flight controllers' determination with the help of a stationary stochastic model and its further termination during simulator training was developed. Model is based on quantitative parameters of professional training stochastic process. Two deterministic components of stochastic training process (constant level of stochastic academic performance parameter and personal operator peculiarities parameter) and one pure stochastic component (real random value deviation) were distinguished.

Keywords: flight controllers, stationary stochastic training models, simulation-based training, termination of training.



УДК 651.518:629.7.03(045)

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Єнчев С.В., Товкач С.С.

Національний авіаційний університет, м. Київ

Розглядається один із підходів побудови нечіткої експертної системи для оцінки технічного стану вузлів авіаційних газотурбінних двигунів. Запропонований алгоритм контролю і діагностики технічного стану ГТД на основі модифікованого методу діагностичних матриць і правил нечіткої логіки. Розроблена інженерна методика може бути застосована на етапі випробування авіаційних двигунів.

Ключові слова: контроль, діагностика, нечітка логіка, база даних, семантичні мережі.

Вступ. Газотурбінний двигун (ГТД) як відновлюваний об'єкт протягом терміну служби вимагає постійного моніторингу, трудомісткість якого залежить від рівня автоматизації процесів отримання, обробки, зберігання, документування інформації про поточний стан авіаційного двигуна, а також контролю, діагностики, прогнозування його технічного стану, послідовність і методи виконання яких визначають інформаційну технологію моніторингу (ІТМ). Засобом їх реалізації є розподілені системи моніторингу, на які покладається задача визначення ступеня відповідності об'єкту моніторингу пропонованим вимогам, тобто контролю його технічного стану.

Розподілена система моніторингу являється логічним доповненням ІТМ, так як спільно з останньою здійснює аналіз фактичного технічного стану ГТД: прогнозування залишкового ресурсу, відстежує деградацію робочих характеристик авіаційного двигуна, визначає програму ремонтно-відновлювальних робіт і т. д [1].

Разом з тим, незважаючи на значний обсяг досліджень в даних областях, інформаційні технології моніторингу технічного стану ГТД не є досконалими з ряду причин, основними з яких є, з одного боку, роз'єднаність баз даних випробувань, контролю та діагностики, відсутність інтелектуальних компонентів, що дозволяють якісно й ефективно здійснювати підтримку прийняття відповідальних рішень і, як наслідок, зменшувати загальний час, що витрачається на обслуговування ГТД, з іншого боку, нестаціонарність фізичних процесів в авіаційному двигуні, складність його математичного опису, залежність технічних характеристик двигуна від зовнішніх умов роботи, обмежений склад вимірюваних термогазодинамічних параметрів двигуна і т. д. Зазначені фактори призводять до необхідності прийняття рішень про технічний стан двигуна в умовах істотної невизначеності.

Актуальність досліджень. Слід зазначити, що використання нейронних мереж (НМ) для моделювання в умовах невизначеності є складним. Ефективний інструмент для подібного моделювання дає теорія нечітких множин. На даний момент нечітка логіка розглядається як стандартний метод моделювання та проектування. У 1997 р. мова нечіткого керування (Fuzzy Control Language) внесена до Міжнародного стандарту програмованих контролерів ІЕС 1131-7.

Системи на нечітких множинах розроблені й успішно впроваджені в таких галузях, як: медична діагностика, технічна діагностика, фінансовий менеджмент, управління персоналом, біржове прогнозування, розпізнавання образів, виявлення шахрайства, управління комп'ютерними мережами, управління технологічними процесами, управління транспортом, логістика, пошук інформації, радіозв'язок та телебачення. Спектр додатків дуже широкий – від побутових відеокамер, пилососів і пральних машин до засобів наведення ракет протиповітряної оборони і управління бойовими вертольотами і літаками. Практичний досвід розробки систем на нечітких множинах свідчить, що терміни і вартість їх проектування значно нижче, ніж при використанні традиційного математичного апарату. При цьому забезпечуються необхідні рівні якості. Батько нечіткої логіки



Лотфі Заде якось з цього приводу зауважив, що «майже завжди можна зробити такий же самий продукт без нечіткої логіки, але з нечіткою буде швидше і дешевше» [2].

Реалізація FDI-методу з прийняттям рішення на основі нечіткої логіки. При реалізації FDI-методу (Fault Detection and Identification), заснованого на порівнянні результатів вимірювань газодинамічних параметрів реального ГТД з розрахунковими параметрами, обчисленими по його математичній моделі [3], в середовищі експертної системи можна використовувати два підходи до адаптації математичної моделі авіаційного двигуна в базі знань (БЗ):

– математична модель суворо налаштовується на середньостатистичний по парку ГТД;

– математична модель адаптується в БЗ під індивідуальний авіаційний двигун (з урахуванням даних, що характеризують його паспортні значення).

Налаштування (підгонка коефіцієнтів) математичної моделі на індивідуальний ГТД передбачає використання методу зрівняння [3], суть якого полягає в мінімізації нев'язок між параметрами, обчисленими з математичної моделі і вимірними з її фізичного аналога, шляхом послідовних ітерацій (настройки коефіцієнтів поправок для всіх вимірюваних і обчислюваних величин).

Для підвищення точності діагнозу по середньостатистичній математичній моделі можна використовувати два підходи:

– по-перше, середньостатистичну модель можна замінити індивідуальною, тобто для кожного ГТД та його підсистем коригувати еталонну модель шляхом ідентифікації останньої за результатами здавальних випробувань (уточнюються індивідуальні границі параметрів стану, які будуть більш вузькими, а отже, і більш надійними);

– по-друге, замість постійних границь параметрів стану можна використовувати змінні, що враховують дрейф цих границь з урахуванням зносу і старіння двигуна, застосовуючи елементи нечіткої логіки.

Критерії ефективності ідентифікації середньостатистичної математичної моделі ГТД в середовищі експертної системи можуть бути представлені у вигляді:

$$\begin{aligned} \delta_p &= \frac{1}{mz} \sum_{Ij}^{mz} (P_{Ij} - P_{M_I})^2; \\ \delta_x &= \frac{1}{nz} \sum_{ij}^{nz} (x_{g_j} - x_{M_{ij}})^2. \end{aligned} \quad (1)$$

де P_{Ij}, P_{M_I} – відповідно виміряні при випробуваннях і розраховані за адекватною математичною моделлю значення параметрів проточної частини ГТД; $x_{g_j}, x_{M_{ij}}$ – дійсні та розраховані за математичною моделлю значення характеристик вузлів ГТД (варійовані параметри моделі); $I = \overline{1, m}$, де m – число вимірюваних при випробуваннях параметрів ГТД; $i = \overline{1, n}$, де n – число варійованих параметрів математичної моделі; $j = \overline{1, z}$, де z – число повторних вимірювань параметрів ГТД.

Критерій δ_p характеризує точність обчислення параметрів ГТД середньостатистичною моделлю в порівнянні з аналогічними параметрами, отриманими в процесі стендових випробувань, а критерій δ_x – точність визначення значень характеристик вузлів ГТД.

Компонентна математична модель в розрахунково-логічній експертній системі в узагальненому вигляді може бути представлена [1, 3]:

$$Z_{\xi, k}^*(t) = P_{\xi, k}(\tilde{Z}_{\xi}(t), R_k, Q_k, S_k, T_k), \quad (2)$$



де $Z_{\xi,k}^*(t)$ – вектор вихідних параметрів, обчислених по компонентній математичній моделі ГТД; $\tilde{Z}_{\xi}(t)$ – вектор вхідних впливів, що задає режим роботи ГТД, $\xi = \overline{1, \varepsilon}$; $R_k = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}$ – безліч компонент, що входять до складу математичної моделі ГТД і знаходяться в концептуальній БЗ експертних систем, які характеризуються k -м поєднанням в узагальненій семантичній мережі, $k = \overline{1, K}$; Q_k – оператор перетворення вектора вхідних впливів у вектор вихідних параметрів, що розраховуються з обчислювальної моделі; S_k – рівняння зв'язку для побудови компонентної моделі (визначення зв'язуючих змінних окремих компонентів); T_k – тривалість функціонування.

На рис. 1 показаний процес формування (наповнення) баз даних дефектів, а також реалізація FDI-методу в середовищі експертної системи. При цьому в процесі формування бази даних (БД) дефектів мається на увазі, що користувач попередньо «налаштував» сформовану ним з окремих понять (компонентів) у концептуальній БЗ математичну модель ГТД. У процесі роботи з даною компонентною математичною моделлю він на етапі її адаптації в середовищі експертних систем по відомим вхідним параметрам формує еталонний вектор даних, які характеризують бездефектний стан останньої. Еталонний вектор даних зберігається у вбудованій БД експертних систем у вигляді «атрибут – значення». Далі вирішується «пряма» задача: по відомому дефекту знаходяться відхилення від еталонного стану. Для цього користувачем у компоненти математичної моделі вносяться характерні дефекти. Розрахунки, проведені по математичній моделі з попередньо внесеними дефектами, формують на її виході відповідний вектор параметрів, порівняння якого з еталонним дає вектор відхилень (факти), який у якості статистичного матеріалу заповнює БД дефектів.

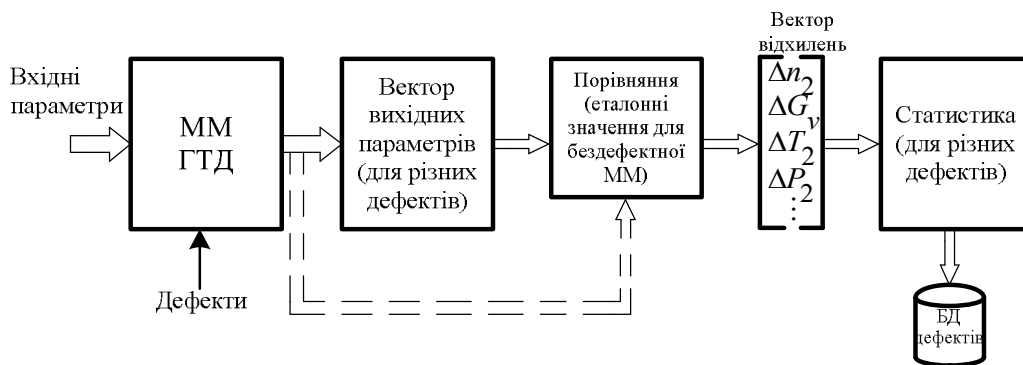


Рисунок 1 – Процес формування бази даних дефектів

Реалізація FDI-методу в середовищі експертної системи (рис. 2) передбачає рішення «зворотної задачі»: по вектору відхилень, на конкретному режимі роботи ГТД, здійснюється локалізація дефекту з прийняттям відповідного рішення. Для цього дані з БД випробувань ГТД (вхідні параметри) подаються на вхід компонентної математичної моделі, а потім вектори вихідних параметрів моделі і даних зі штатних датчиків на стенді (попередньо оброблених і записаних в БД випробувань) порівнюються. У результаті виходить вектор відхилень, аналіз якого базою нечітких правил експертних систем формує відповідне діагностичне рішення про фактичний технічний стан авіаційного двигуна з рекомендаціями щодо його експлуатації. Таким чином, математична модель є додатковим інформаційним каналом для передачі діагностичної інформації.

У рамках FDI-методу, згідно рис. 1 і 2, налаштована на індивідуальний авіаційний ГТД компонентна математична модель була адаптована в БЗ експертної системи.

Далі на цій моделі були отримані: вектор еталонного стану ГТД і вектори, що характеризують дефектний стан двигуна. У процесі порівняльного аналізу еталонного і дефектних векторів були отримані вектори відхилень (нев'язок), що утворюють базу



даних дефектів (статистика по різних дефектах), на основі якої була розроблена експертна база знань, яка реалізує алгоритми прийняття рішення.

Елементи нечіткої логіки доцільно застосовувати спільно з такими класичними методами, як:

- метод діагностичних матриць (матриць Л. А. Урбана);
- варіювання коефіцієнтів параметрів стану двигуна, з метою мінімізації нев'язок між вимірними і розрахунковими параметрами ГТД [2, 3].

Особливості розв'язку задач контролю і діагностики ГТД. Наведені нижче приклади ілюструють особливості застосування запропонованого підходу, враховуючи якісні зміни, що відбуваються у ГТД, наприклад, деградацію його характеристик.

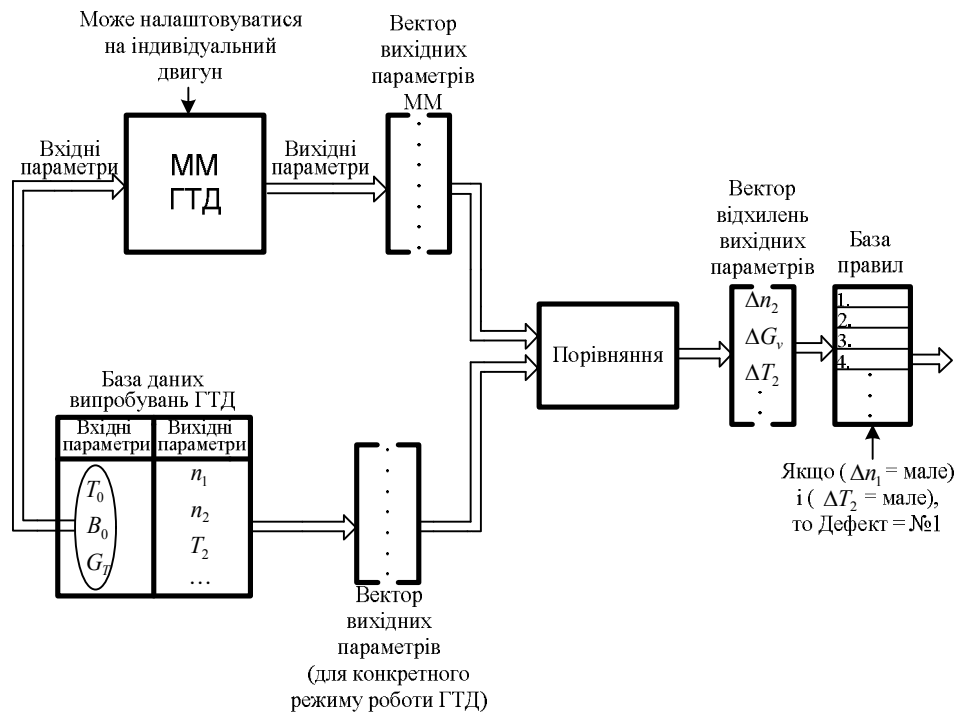


Рисунок 2 – Реалізація FDI-методу з прийняттям рішень на основі нечіткої логіки

Задачі семантичної візуалізації [4], а також реконфігурації математичної моделі (зворотне доведення теорем, автоматичний синтез програм) вирішуються на основі математичної моделі двовального двоконтурного ГТД.

Математична модель діагностуючого авіаційного двигуна налаштована на індивідуальний ГТД з урахуванням розсіювання параметрів компресорних характеристик. Розв'язок даної задачі здійснювалося в два етапи:

- пряма задача, для розв'язку якої була використана статистика характерних дефектів, що проявилися в процесі експлуатації даного ГТД, а також подібна статистика, отримана на адекватній математичній моделі (рис. 1);
- зворотна задача, розв'язок якої дозволяє по результуючому вектору відхилень (покомпонентне порівняння параметрів математичної моделі та вимірних даних зі штатних датчиків) прийняти рішення про фактичний технічний стан ГТД (рис. 2).

Для розв'язку задачі локалізації несправних модулів проточної частини ГТД використовується метод діагностичних матриць, що встановлює зв'язки між відхиленнями вимірюваних термогазодинамічних параметрів робочого процесу і відхиленнями розрахункових конструктивних параметрів стану вузлів двигуна.

Такі моделі можуть бути задані у векторній формі у вигляді:

$$\vec{\delta x} = A^{-1} \cdot B \cdot \vec{\delta y}, \quad (3)$$



де $\vec{\delta x}$ – вектор параметрів стану двигуна; $\vec{\delta y}$ – вектор діагностичних ознак, відносних відхилень вимірюваних параметрів ГТД; B і A – матриці коефіцієнтів, що дозволяють встановлювати кількісний взаємозв'язок зазначених параметрів на певних режимах роботи двигуна. Діагностична матриця конкретного двигуна на певному режимі являє собою таблицю чисельних значень коефіцієнтів a_{ij} і b_{ij} , які дозволяють по відхиленнях ряду вимірюваних параметрів δy_{ij} визначати відхилення невимірюваних параметрів стану окремих вузлів δx_{ij} .

Нехай у процесі контролю технічного стану ГТД з програмою регулювання ($n_1 = const, F_C = const$) були заміряні наступні параметри: n_2 – частота обертання ротора компресора високого тиску (%); G_V – витрата повітря (кг/с); T_2^* – температура повітря за компресором (К); P_2^* – тиск повітря за компресором (Па); T_3^* – температура газів на виході з камери згоряння (К); T_4^* – температура газів за турбіною (К); P_4^* – тиск газів за турбіною (Па); F_C – площа соплового апарату (см); G_t – витрата палива (кг/год); R – тяга, яка розвивається двигуном (Н).

Аналіз статистичних даних про характерні дефекти у вузлах ГТД, а також доповнення їх шляхом імітації (внесенням дефекту) на математичній моделі ГТД дозволили побудувати діагностичну матрицю у вигляді:

$$DEF\gamma_i = \overline{M}_p, \quad (4)$$

де γ_i – перший стовпець матриці, що містить імітовані дефекти; $i=1, \dots, N$ – кількість дефектів; \overline{M}_p – вектор параметрів, отриманий в процесі розрахунків по компонентній математичній моделі (реакція на прояв дефекту); $p=1, \dots, K$ – кількість вимірюваних параметрів.

Перший рядок даної матриці – еталонний стан ГТД, який містить нульові елементи. Усі наступні рядки – відхилення від еталонного стану внаслідок прояву дефекту. Всього було розглянуто 15 різних дефектів на максимальному режимі роботи авіаційного двигуна. Імітація кожного дефекту на математичній моделі була обумовлена зміною внутрішнього параметра ГТД в діапазоні 1...5%.

Зворотна діагностична матриця була отримана шляхом перетворення діагностичної матриці до вигляду:

$$\overline{M}_p = DEF\gamma_i. \quad (5)$$

Фрагмент даної матриці наведено в табл. 1. Тут D_{y_i} – значення параметрів ГТД, які відповідають відхиленням від їх еталонних даних; $REZULT$ – стовпець даних, які описують певну ситуацію. Наприклад, запис $PIK_ND3\%$ означає зменшення ступеня підвищення тиску в компресорі низького тиску на 3% від еталонного значення. Адаптація діагностичної матриці в експертну базу знань здійснюється у вигляді продукцій, а на логічному рівні – верхній рядок матриці – атрибути експертної бази знань; наступні рядки – значення атрибутів. Аналіз даної діагностичної матриці показує, що внесення дефекту в конкретний вузол ГТД (імітація на компонентній математичній моделі в процесі розв'язку «прямої» задачі діагностики), призводить до істотної зміни декількох параметрів в рядку.

Проводячи порядкову оцінку зміни параметрів двигуна на виникнення в ньому того чи іншого дефекту, можна побудувати таблицю, з одного боку, яка характеризує зміну поведінки кожного окремо взятого параметра, а з іншого – мінімізує кількість штатних датчиків (виділяються найбільш істотні) (табл. 2).



Таблиця 1 – Діагностична матриця двоконтурного ГТД

<i>D N₂</i>	<i>D G_V</i>	<i>D T₂</i>	<i>D P₂</i>	<i>D T₃</i>	<i>D T₄</i>	<i>D P₄</i>	<i>D P₆</i>	<i>D F_C</i>	<i>D G_t</i>	<i>D R</i>	<i>REZULT</i>
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ETALON
-0,19	0,11	0,17	0,13	0,00	-0,09	-0,32	-0,32	0,39	-0,04	-0,07	PiKND1%
-0,48	0,33	0,52	0,39	0,00	-0,27	-0,93	-0,93	1,11	-0,11	-0,18	PiKND3%
-0,68	0,55	0,87	0,65	0,00	-0,46	-1,57	-1,57	1,87	-0,19	-0,31	PiKND5%
0,19	0,07	-0,30	0,06	0,00	0,16	0,82	0,82	-0,66	0,33	0,49	KPDKND1%
0,78	0,24	-0,93	0,18	0,00	0,49	2,53	2,53	-2,08	1,03	1,54	KPDKND3%
1,16	0,39	-1,61	0,27	0,00	0,85	4,27	4,28	-3,60	1,76	2,62	KPDKND5%
-0,10	0,84	0,13	0,85	0,00	-0,07	0,53	0,53	0,28	0,72	1,02	GVND1%
-0,29	2,46	0,36	2,49	0,00	-0,19	1,60	1,60	0,79	2,16	3,01	GVND3%
-4,28	6,80	2,16	5,10	0,00	-1,16	-0,11	-0,14	4,55	3,21	5,14	GVND5%
-0,78	-0,06	0,05	-0,06	0,00	-0,03	-0,18	-0,18	0,11	-0,10	-0,15	PiKVD1%
-2,33	-0,21	0,15	-0,18	0,00	-0,08	-0,53	-0,53	0,30	-0,34	-0,47	PiKVD3%
-4,07	-0,37	0,25	-0,32	0,00	-0,13	-0,96	-1,00	0,55	-0,59	-0,84	PiKVD5%
0,68	0,21	-0,12	0,25	0,00	0,06	0,53	0,53	-0,28	0,31	0,46	KPDKVD1%
2,04	1,20	-0,41	0,58	0,00	0,21	1,64	1,64	-0,92	0,95	1,38	KPDKVD3%
3,39	1,46	-0,70	0,97	0,00	0,37	2,70	2,71	-1,55	1,60	2,32	KPDKVD5%
-0,19	0,00	0,00	-1,96	0,00	0,00	-1,96	-1,96	0,00	-1,97	-1,97	GVVD1%
0,00	0,46	0,22	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	GVVD3%
0,00	0,00	0,52	1,27	0,00	0,61	0,89	0,89	0,21	0,80	-1,97	GVVD5%
-0,58	-0,11	-0,17	-2,47	-1,00	-1,18	-3,42	-3,42	0,73	-4,06	-3,28	Fkr_c1%
-1,94	-0,37	-0,58	-3,66	-3,00	-3,51	-6,30	-6,31	2,07	-8,22	-5,88	Fkr_c3%
-3,20	-0,59	-0,96	-4,78	-5,00	-5,85	-9,15	-9,16	3,34	-9,39	-8,39	Fkr_c5%
0,68	0,21	0,15	-1,73	0,00	0,06	-1,42	-1,43	-0,28	-1,88	-1,50	KPDMVD1%
1,94	0,59	0,40	-1,34	0,00	0,22	-0,36	-0,36	-0,88	-1,72	-0,60	KPDMVD3%
3,39	0,99	0,66	-0,88	0,00	0,37	0,78	0,78	-1,55	-1,52	0,37	KPDMVD5%
0,00	0,00	0,00	-1,96	0,00	0,14	-1,32	-1,32	-0,57	-1,97	-1,63	KPDMND1%
0,00	0,00	0,00	-1,96	0,00	0,42	0,00	0,00	-1,75	-1,97	-0,93	KPDMND3%
0,00	0,00	0,00	-1,96	0,00	0,72	1,39	1,35	-3,00	-1,97	-0,19	KPDMND5%
0,68	0,22	0,16	-1,71	0,00	-0,09	-1,53	-1,53	-0,25	-1,88	-1,61	KPDTVD1%
2,23	0,65	0,44	-1,26	0,00	-0,24	-0,68	-0,68	-0,74	-1,68	-0,89	KPDTVD3%
3,69	1,08	0,71	-0,80	0,00	-0,38	0,25	0,25	-1,31	-1,47	-0,13	KPDTVD5%
0,00	0,00	0,00	-1,96	0,00	0,00	-1,32	-1,32	-0,63	-1,97	-1,71	KPDTND1%
0,00	0,00	0,00	-1,96	0,00	0,00	0,00	-0,04	-1,94	-1,97	-1,15	KPDTND3%

Знак «мінус» у рядках матриці показує тенденцію до зменшення значення вимірюваного параметра, а знак «плюс» – до його збільшення. Помічені знаком ⊗ рядки показують суттєве відхилення вимірюваних параметрів. Дані рядка лягли в основу створення бази експертних знань, яка формується на основі табл. 3 та функцій належності відповідних лінгвістичних змінних, наприклад, рис. 3-6. Таким чином, база експертних знань (база правил) на логічному рівні буде мати вигляд, показаний в табл. 3. У цьому стані експертна система «навчена» тільки на розпізнавання фактичного технічного стану ГТД за умови, що вектор відхилень вихідних параметрів авіаційного двигуна містить нев'язки, відповідні 5% зміни параметрів його вузлів.

У табл. 3 наведені параметри відхилень (нев'язок) і відповідні їм лінгвістичні змінні: LN (Large Negative) – дуже мале; MN (Middle Negative) – невелике; Z (Zero) – близько нуля; MP (Middle Positive) – середнє; LP (Large Positive) – дуже велике.

Процес тестування працездатності експертної системи будемо перевіряти за тими рядкам бази правил (табл. 3), які не увійшли до навчальної множини: по двох попередніх рядках (з відхиленням параметрів стану ГТД у вузлах на 1 і 3 % відповідно)



Таблиця 2 – Формування бази нечітких правил на основі діагностичної матриці

$D N_2$	$D G_V$	$D T_2$	$D P_2$	$D T_3$	$D T_4$	$D P_4$	$D P_6$	$D F_C$	$D G_t$	$D R$	REZULT
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ETALON
-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	PIKND1%
-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	PIKND3%
-	+	+⊗	+	-	-	-⊗	-⊗	+⊗	-	-	PIKND5%
+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	KPDKND1%
+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	KPDKND3%
+⊗	+	-⊗	+	-	+	+	+	-⊗	+⊗	+	KPDKND5%
-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	GVND1%
-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	GVND3%
-⊗	+	+⊗	+⊗	-	-	-	-	+	+	+⊗	GVND5%
-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	PIKVD1%
-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	PIKVD3%
-⊗	-⊗	+	-⊗	-	-	-	-	+	-	-⊗	PIKVD5%
+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	KPDKVD1%
+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	KPDKVD3%
+⊗	+⊗	-⊗	+	-	+	+	+	-	+	+⊗	KPDKVD5%
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	GVVD1%
-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	GVVD3%
-	-	+⊗	+⊗	-	+⊗	+	+	+	+⊗	-	GVVD5%
-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	Fkr_c1%
-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	Fkr_c3%
-⊗	-	-	-	-	-⊗	-	-	+	-⊗	-⊗	Fkr_c5%
+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	KPDMVD1%
+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	KPDMVD3%
+	+	+	-⊗	-	+	+⊗	+⊗	-	-⊗	+	KPDMVD5%
-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	KPDMND1%
-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	KPDMND3%
-	-	-	-	-	+⊗	+⊗	+⊗	-	-	-⊗	KPDMND5%
+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	KPDTVD1%
+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	KPDTVD3%
+⊗	+⊗	+	-	-	-	+	+	-	-⊗	-⊗	KPDTVD5%

Таблиця 3 – База нечітких експертних правил

Атрибути і їх значення	Результат
Якщо $(\Delta T_2 = Z) \wedge (\Delta P_4 = Z) \wedge (\Delta P_6 = Z) \wedge (\Delta F_C = MP)$	то $Y_1 = PIKND$
Якщо $(\Delta N_2 = Z) \wedge (\Delta T_2 = Z) \wedge (\Delta F_C = MN) \wedge (\Delta G_t = MP)$	то $Y_2 = KPDKND$
Якщо $(\Delta N_2 = LN) \wedge (\Delta T_2 = Z) \wedge (\Delta P_2 = LP) \wedge (\Delta R = LP)$	то $Y_3 = GVND$
Якщо $(\Delta N_2 = LN) \wedge (\Delta G_V = Z) \wedge (\Delta P_2 = Z) \wedge (\Delta R = Z)$	то $Y_4 = PIKVD$
Якщо $(\Delta N_2 = MP) \wedge (\Delta G_V = Z) \wedge (\Delta T_2 = Z) \wedge (\Delta R = MP)$	то $Y_5 = KPDKVD$
Якщо $(\Delta T_2 = Z) \wedge (\Delta P_2 = Z) \wedge (\Delta T_4 = Z) \wedge (\Delta G_t = Z)$	то $Y_6 = GVVD$
Якщо $(\Delta N_2 = MN) \wedge (\Delta T_4 = LN) \wedge (\Delta G_t = LN) \wedge (\Delta R = LN)$	то $Y_7 = FKR$
Якщо $(\Delta P_4 = Z) \wedge (\Delta P_6 = Z) \wedge (\Delta P_2 = Z) \wedge (\Delta G_t = MN)$	то $Y_8 = KPDMVD$
Якщо $(\Delta T_4 = Z) \wedge (\Delta P_4 = Z) \wedge (\Delta P_6 = Z) \wedge (\Delta R = Z)$	то $Y_9 = KPDMND$

Логіка процесу прийняття рішень показана на рис. 3. Вектор відхилень (рядок діагностичної матриці) (табл. 1) обробляється базою експертних знань, що утворює систему правил (продукцій), які дозволяють обчислити рівні активності правил α_i .

Так, для першого рядка (табл. 1) і (табл. 2) маємо рівень активності правила α_1 , для якого відповідно зі справним станом ГТД максимальне значення ступеня впевненості дорівнює 1 і воно характеризує придатний ГТД, а мінімальне значення (нуль) відповідає не придатному двигуну. Проміжні значення ступеня впевненості при постановці діагнозу



можуть означати, наприклад, що двигун «практично не придатний» ($\alpha_1 = 0,3$) або «практично придатний» ($\alpha_1 = 0,7$).

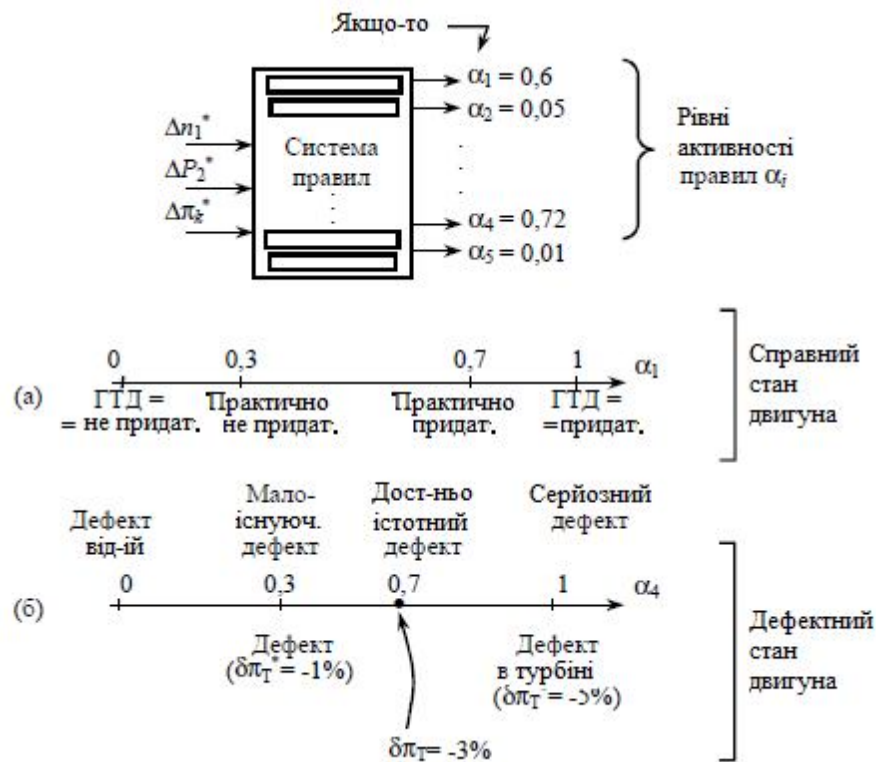


Рисунок 3 – Прийняття рішення діагностичною експертною системою

Четвертий рядок (табл. 1) і (табл. 2) відповідає рівню активності правила α_4 і діагнозу «дефект у вузлі турбіни». Максимальне значення $\alpha_4 = 1$ і в даному випадку характеризує «істотний дефект», який відповідає зменшенню на 5 % ступеня зниження тиску на турбіні $\delta\pi_T^* = -5\%$, а мінімальне значення $\alpha_4 = 0$ означає, що даний дефект відсутній. Проміжні значення α_4 можуть означати, наприклад, що дефект в турбіні низького тиску відповідає зменшенню ступеня пониження тиску на турбіні на 1 % ($\alpha_4 = 0,3$) або на 3% ($\alpha_4 = 0,7$).

Висновок. Запропоновано метод побудови математичної моделі ГТД на основі розширеної семантичної мережі, що дозволяє, шляхом реконфігурації математичної моделі та адаптації її характеристик до індивідуального двигуна, вирішувати широкий набір задач контролю та діагностики технічного стану ГТД; алгоритм контролю і діагностики технічного стану ГТД на основі модифікованого методу діагностичних матриць і правил нечіткої логіки, застосування якого дозволяє ефективно і якісно здійснювати моніторинг технічного стану авіаційного двигуна.

Застосування методів теорії нечітких множин для ідентифікації математичних моделей ГТД є новим напрямком в розвитку ММ ГТД.

Елементи нечіткої логіки доцільно використовувати спільно з нейронними мережами. Проте варто окремо відзначити недоліки та обмеження нейронних мереж і нечітких систем, які необхідно брати до уваги при проектуванні систем.

Основними недоліками апарату нейронних мереж є:

- 1) відсутність суворої теорії за вибором структурної схеми нейронної мережі;
- 2) складність виділення набутих знань з навченої нейронної мережі.

Основні недоліки систем з нечіткою логікою пов'язані з тим, що:

- 1) початковий набір постулюючих нечітких правил формулюється експертом-людиною і може виявитися неповним або суперечливим;



2) вид і параметри функцій приналежності, що описують вхідні і вихідні змінні системи, вибираються суб'єктивно і можуть виявитися не цілком відображаючими реальну дійсність.

Тому з'являється перспектива розвитку апарату гібридних мереж, в яких висновки робляться на основі апарату нечіткої логіки, але відповідні функції приналежності налаштовуються з використанням алгоритмів навчання нейронних мереж. Такі системи не тільки використовують апріорну інформацію, але й можуть набувати нові знання і для користувача є логічно прозорими. На їх основі можна виконувати нечіткі експертні та керуючі системи адаптивними – коректуючи по мірі роботи системи та правила і параметри функцій приналежності.

Подальше дослідження пропонується розвивати в напрямку практичної реалізації даної методики для конкретних ГТД.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Жернаков С. В. Интеллектуальный мониторинг и диагностика параметров газотурбинного двигателя гибридными экспертными системами / С. В. Жернаков // Автоматизация и современные технологии. – М. : Машиностроение, 2001. – № 12. – С. 16-22.
2. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.
3. Таран Е. М. Универсальный метод согласования математической модели ГТД с результатами испытаний / Е. М. Таран // Испытания авиационных двигателей. – Уфа : УГАТУ, 2012. – № 14 – С. 63-70.
4. Соломатин Н. Н. Информационные семантические системы / Н. Н. Соломатин, Ю. М. Смирнов. – М. : Высшая школа, 2001. – 127 с.

Енчев С.В., Товкач С.С. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Рассматривается один из подходов построения нечеткой экспертной системы для оценки технического состояния узлов авиационных газотурбинных двигателей. Предложенный алгоритм контроля и диагностики технического состояния ГТД на основе модифицированного метода диагностических матриц и правил нечеткой логики. Разработана инженерная методика, которая может быть применена на этапе испытаний авиационных двигателей.

Ключевые слова: контроль, диагностика, нечеткая логика, база данных, семантические сети.

Enchev S.V., Tovkach S.S. DIAGNOSTIC OF THE TECHNICAL CONDITION AVIATION ENGINES IS BASED ON FUZZY LOGIC

Considered an approach of creation a fuzzy expert system for the estimation of the technical condition for gas turbine engine elements. Proposed algorithm of control and technical diagnosis of gas turbine engine is based on the modified method of diagnostic matrix and fuzzy logic. Developed engineering technique can be applied at the stage of testing of aircraft engines.

Keywords: control, diagnosis, fuzzy logic, database, semantic networks.



УДК 621.865.8

МЕТОДИЧНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СЕРВІСУ ДЛЯ ТІЛ ОБЕРТАННЯ

*Кирилович В.А., Мельничук П.П., Моргунов Р.С.
Житомирський державний технологічний університет*

Розглянуто автоматизоване визначення векторно-проекційних складових технологічної взаємодії схватів промислових роботів із циліндричними об'єктами маніпулювання на нерухомих пристосуваннях. Наведена покрокова методика формування лінійних та кутових параметрів сервісу технологічної взаємодії.

Ключові слова: технологічна взаємодія, схват, об'єкт маніпулювання.

Вступ. Постановка проблеми. Однією з основних складових автоматизованого синтезу (АС) роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) є визначення параметрів технологічного взаємодії схватів (Сх) промислових роботів (ПР) з об'єктами маніпулювання (ОМ) при технологічному обслуговуванні кожної t -ої робочої позиції ($РП_t | t=1, T$), де T – загальна кількість РП аналізованої / проєктованої гнучкої виробничої комірки (ГВК). Технологічна взаємодія (ТВ) – це комплексне поняття, що передбачає знаходження відповідних параметрів при розв'язуванні кінцевої множини запропонованих векторно-проекційних, геометрично-силових та траєкторно-динамічних задач, що змістовно відтворюють явища та процеси між ОМ, СхПР та ПрРП при виконанні технологічних операцій завантаження та/або розвантаження РП ГВК [1, 2].

Визначення геометрично-силових та траєкторно-динамічних параметрів ТВ СхПР з ОМ неможливе без заходження векторно-проекційної складової. Останню формують, так звані, технологічні параметри сервісу (ТПС), що в свою чергу складаються з кутових та лінійних параметрів (відповідно КПС та ЛПС). КПС являють собою сектори, що описують можливу орієнтацію Сх навколо осі, наприклад, для ОМ типу тіла обертання, аналізованої конкретної елементарної поверхні ОМ. ЛПС є відрізками, що лежать на осі ОМ та характеризують можливість накладання проекційних, а в подальшому і силових зв'язків таким чином, щоб полюс Сх співпадав з точкою, що належить відповідному відрітку осі ОМ, а затискні елементи (ЗЕ) Сх механічно контактували з певною елементарною поверхнею ОМ

Аналіз доступних інформаційних джерел [3-7] показав, що розв'язування задач визначення параметрів складових ТВ в даній постановці як в теоретичній, так і в практичній реалізації на сьогодні відсутні. Вказане відноситься і до існуючих спеціалізованих програмних продуктів, орієнтованих на розв'язання різноманітних задач роботизації [8-12]. Характерним є те, що, як правило, надається лише інформація рекомендаційного характеру щодо вибору поверхні затиску ОМ під час роботизованих технологічних операцій. Також відсутні відомості щодо прийняття рішень в умовах існуючої множини альтернатив (можливих варіантів) затиску ОМ і з яких міркувань обрати поверхню затиску ОМ. Тому на сьогодні автоматизоване розв'язування задач векторно-проекційної складової ТВ залишається відкритим.

Актуальність даної задачі підсилюється ще і тим, що за даними світової федерації робототехніки кількість інсталяцій ПР у виробничій сфері стрімко зростає з кожним роком [13]. Зменшення собівартості роботизованих технологічних процесів завжди було і залишається однією із основних задач під час їх проєктування/синтезу, на що впливають і відповідні значення параметрів ТВ.

Метою роботи є автоматизоване розв'язування задач визначення ТПС як складової ТВ СхПР з ОМ для нерухомих ОМ типу тіла обертання, систематизація та візуалізація отриманих результатів при АС РМСТ.

Виклад основної частини. Відомо, що для затиску ОМ типу тіл обертання, перевага повинна надаватись тим поверхням, які знаходяться близько до центра мас ОМ



при його знаходженні на РП_t ГВК, тобто точки G_{OM_t}. Крім цього, слід обирати таку орієнтацію C_x, яка б дозволяла виконувати технологічні операції завантаження / розвантаження РП без зіткнень C_x з/без ОМ із конструктивними елементами технологічного обладнання та відповідних пристосувань, та яку може забезпечити маніпуляційна система (МС) ПР. У загальному випадку очевидною є наявність не пустої множини таких орієнтацій, тобто КПС. Аналогічне можна стверджувати і щодо не пустої множини ЛПС.

Для визначення ТПС необхідними є інформаційні моделі ОМ [14], пристосувань (Пр) РП [15], РП[16], C_xПР [17, 18] та МСПР [18, 19], які дозволяють представляти конструктивні елементи вказаних складових ГВК у вигляді геометричних примітивів із вказанням рухомих/нерухомих елементів та описом виду і величини їх переміщень з використанням математичного апарату кватерніонів.

Запропонований підхід реалізується наступними кроками.

Крок 1. Формування або використання вже існуючих інформаційних моделей C_x, МС та елементів кожної t-ої РП ГВК: ОМ_t, ПрРП_t, технологічного обладнання РП_t, формування їх 3D-моделей.

Крок 2. Декомпозиція 3D-моделей ОМ_t та C_x на елементарні елементи, кожен з яких може бути описаний певним геометричним примітивом (циліндр, конус, параболоїд, або їх комбінації) таким чином, щоб був отриманий симплекс (фігура опуклої форми) для можливості перевірки наявності колізійних ситуацій (зіткнень, перетинів) між відповідними елементами.

Крок 3. Пошук координат положення полюса C_x в системі координат (СК) C_x для кожної аналізованої елементарної поверхні ОМ. Для різних конструктивних виконань C_x в залежності від діаметра поверхні ОМ та типу переміщення затискних елементів C_x (лінійних або обертальних та їх різновидів) полюс C_x може зміщуватись (дрейфувати) в системі координат (СК) C_x. Для пошуку координат полюса C_x з врахуванням вказаного дрейфу виконуються наступні дії:

- формування відрізка C_x (S_{Gr}), кінцевими точками якого є нульова точка СК C_x (т. G0) та найвіддаленіша точка поздовжньої осі C_x, тобто його полюс т. G1) (рис. 1а);

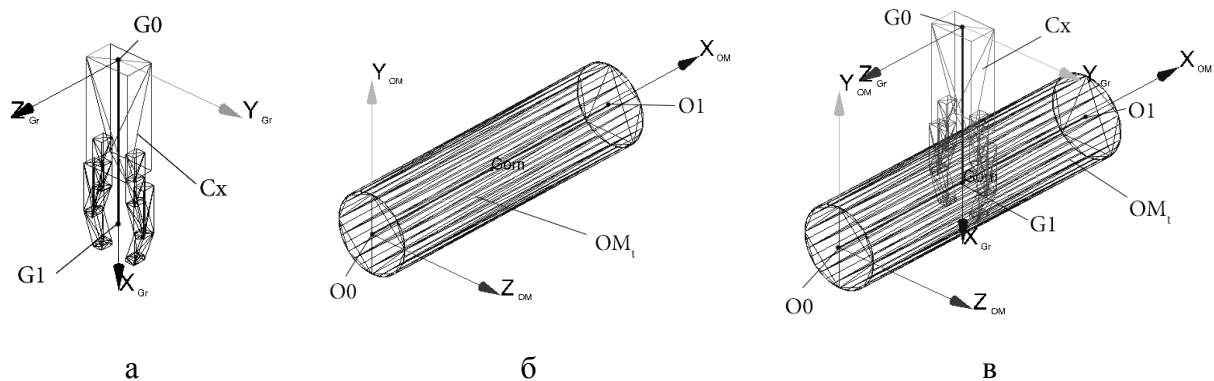


Рисунок 1 – Зображення відрізків за кроком 3: а – схвата; б – об'єкта маніпулювання; в – схвата та об'єкта маніпулювання

- формування відрізка ОМ (S_{OM}), кінцевими точками якого є нульова точка СК ОМ (т. O0) та найвіддаленіша точка поздовжньої осі ОМ (т. O1) (рис. 1б);

- перевірка доцільності визначення ТПС для всіх елементарних поверхонь ОМ.

Якщо між формою та розмірами аналізованої i-ої поверхні ОМ на t-ій РП (l_{i,OM_t}) та затискними елементами C_x певні співвідношення витримуються, наприклад, ширина затискних елементів C_x (l_{3E}) більша за довжину аналізованої елементарної поверхні для відкритих зон, пошук є доцільним; в протилежному випадку аналізована поверхня ОМ ігнорується як така, що непридатна для затиску за неї C_x. Вказане проілюстроване прикладами на рис. 2 та формально реалізується функцією відображення λ_{OM_t, C_x} :



$$\lambda_{OM_t, Cx} : l_{3E} \rightarrow l_{iOM_t} \in \begin{cases} (< l_{3E}, \geq l_{3E}) & \text{– для поверхонь затиску відкритих зон;} \\ (< l_{3E}) & \text{– для поверхонь затиску, що лежать в закритих зонах;} \\ (< l_{3E}, \geq l_{3E}) & \text{– для поверхонь затиску, що лежать в напіввідкритих зонах (без врахування постісторії)} \end{cases} \quad (1)$$

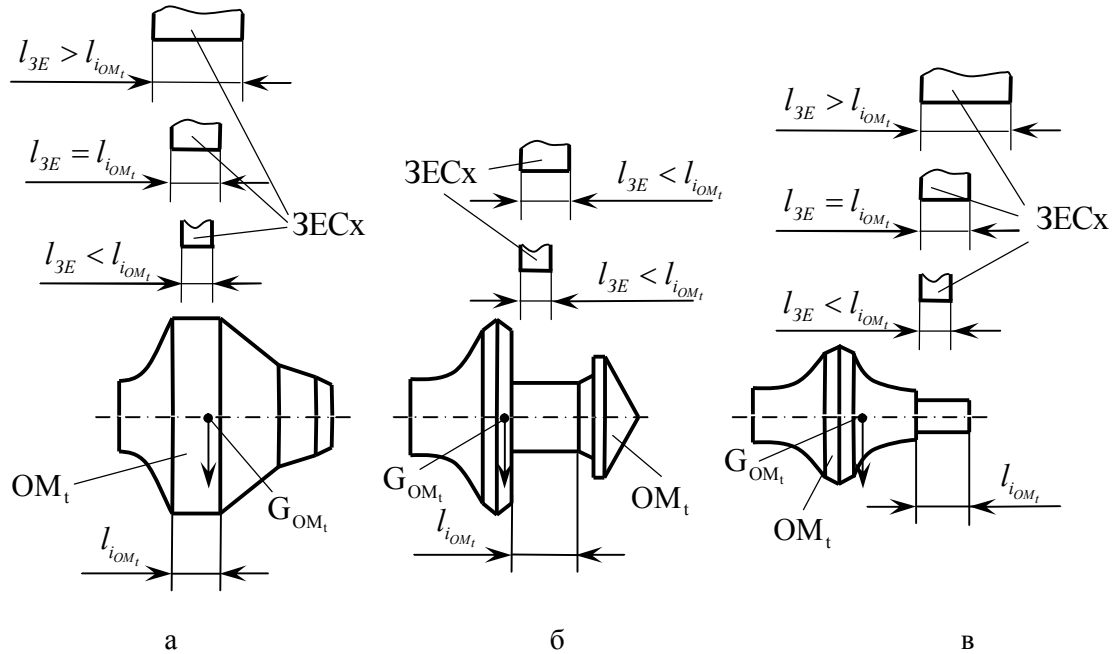


Рисунок 2 – Ілюстрація зон затиску OM_t : а – відкрита; б – закрыта; в – напіввідкрита

– моделювання повного затиску затискних елементів Cx та розміщення S_{Gr} перпендикулярно до S_{OM} таким чином, щоб т. $G1$ лежала на S_{OM} (рис. 1, в); пошук геометричної різниці Мінковського для кожної l_{iOM_t} між точками пар симплексів $OM-Cx$ із отриманих точок за допомогою алгоритму QuickHull [20], формування відповідних симплексів різниці пар (СРП). Так як лінійні трансформації СРП є аналогом зміщення множини точок зменшеної фігури із різниці Мінковського відносно точок фігури від'ємника, то для перевірки на зіткнення немає необхідності у формуванні симплексу для кожного нового зміщення OM відносно Cx , що в свою чергу дає можливість зменшити обсяг та час розрахунків. Оскільки затискні елементи Cx можуть мати різну геометричну форму, то для перевірки на зіткнення для знаходження положення полюса Cx задається певний лінійний крок та виконується зміщення S_{OM} перпендикулярно та вздовж S_{Gr} , а також СРП $OM-Cx$. Далі виконується зміна величини затиску затискних елементів Cx та зміщення OM по вектору S_{Gr} до тих пір, поки не буде виконуватись умова наявності такої хоча б однієї точки C_{OM_t} , що одночасно належить і полюсу Cx – т. P_{Cx} , і осі симетрії OM за умови «холостого» затискання (без OM) Cx , що відображена функцією $\lambda_{3D_{OM_t, Cx}}$, тобто:

$$\lambda_{3D_{OM_t, Cx}} : (\exists C_{OM_t} \in ((P_{Cx} \equiv G1) \wedge S_{OM_t})) \quad (2)$$

Крок 4. Накладання проєкційних зв'язків полюса Cx (P_{Cx}) на вісь кожної елементарної поверхні OM_t .

Крок 5. Знаходження геометричної різниці Мінковського між точками пар симплексів $OM-Cx$, $TO-Cx$, $PrPP-Cx$. Із отриманих точок за допомогою алгоритму QuickHull [20] формування СРП між елементами РП та Cx .

Крок 6. Пошук КПС та ЛПС. Оскільки перевірка на зіткнення виконується перевіркою приналежності нульової точки СК ПР до СРП вздовж осі кожної елементарної



поверхні ОМ, то достатньо для формування ЛПС переміщувати СРП на попередньо обрану відносну величину і запам'ятовувати ті позиції, де нульова точка СК не належить СРП. Далі, змінюючи орієнтацію Сх навколо осі ОМ, виконати кроки 4-6 для знаходження ЛПС для нової орієнтації Сх.

Приклади знайдених КПС та ЛПС для ОМ з розмірами $l = 400$ мм та $\varnothing = 52$ мм наведені в табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1 – КПС та ТПС OM_{t-1} за рис. 2, 3

ОМ / РП	ТПС				Додаткові параметри	
	ЛПС (О0)	ЛПС (О1)	КПС(°)		Величина затиску ЗЕ Сх, частка від повного затиску	$R_{сх}$ в СК Сх
			Величина	Крок кутової дискретизації		
ОМ _{t-1} ∈ РП _{t-1} (див. рис. 3 а, б)	74,94	325,06	0-114, 242-360	1	0,20	215,26
	86,4	313,6	226-241	1	0,20	215,26
ОМ _{t-1} ∈ РП _t (див. рис. 3 в, г)	109,32	390	0-360	1	0,20	215,26
(ОМ _{t-1} ∈ РП _{t-1}) ∧ ∧ (ОМ _{t-1} ∈ РП _t) (див. рис. 4, а, б, в, г)	109,32	325,06	0-114, 242-360	1	0,20	215,26
	109,32	313,6	226-241	1	0,20	215,26

Таблиця 2 – КПС та ТПС OM_t за рис.4, 5

ОМ / РП	ТПС				Додаткові параметри	
	ЛПС (О0)	ЛПС (О1)	КПС(°)		Величина затиску ЗЕ Сх, частка від повного затиску	$R_{сх}$ в СК Сх
			Величина	Крок кутової дискретизації		
ОМ _t ∈ РП _t (див. рис. 5 а, б)	109,43	130	0-360	1	0,20	215,26
	299	320	0-360	1	0,06	199,75
	359	380	0-360	1	0,20	215,26
ОМ _t ∈ РП _{t+1} (див. рис. 5 в, г)	74,05	130	0-114, 242-360	1	0,20	215,26
	85,03	130	226-241	1	0,20	215,26
	299	320	0-103, 257-360	1	0,06	199,75
	299	315,49	104-116, 226-256	1	0,06	199,75
(ОМ _t ∈ РП _t) ∧ (ОМ _t ∈ РП _{t+1}) (див. рис. 6 а, б, в, г)	109,43	130	0-114, 226-360	1	0,20	215,26
	299	320	0-103, 257-360	1	0,06	199,75
	299	315,49	104-116, 226-256	1	0,06	199,75

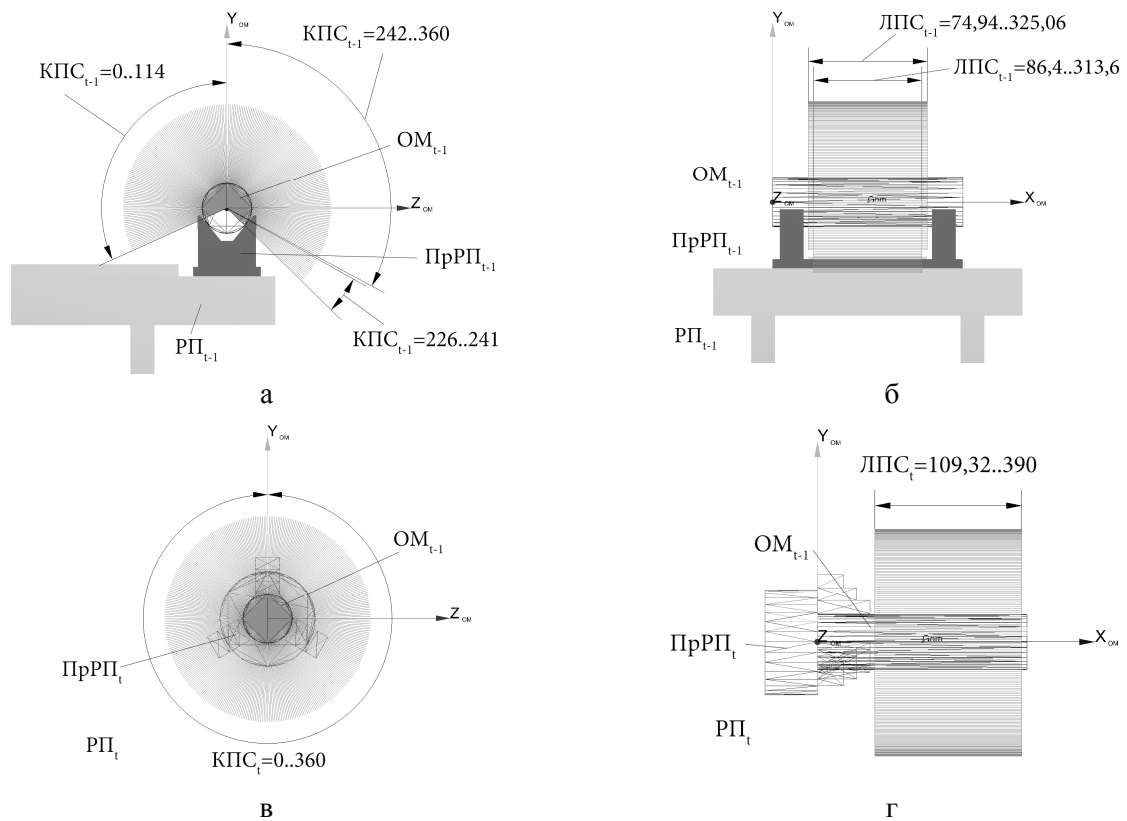


Рисунок 3 – КПС та ЛПС OM_{t-1} на RP_{t-1} (а, б) та RP_t (в, г)

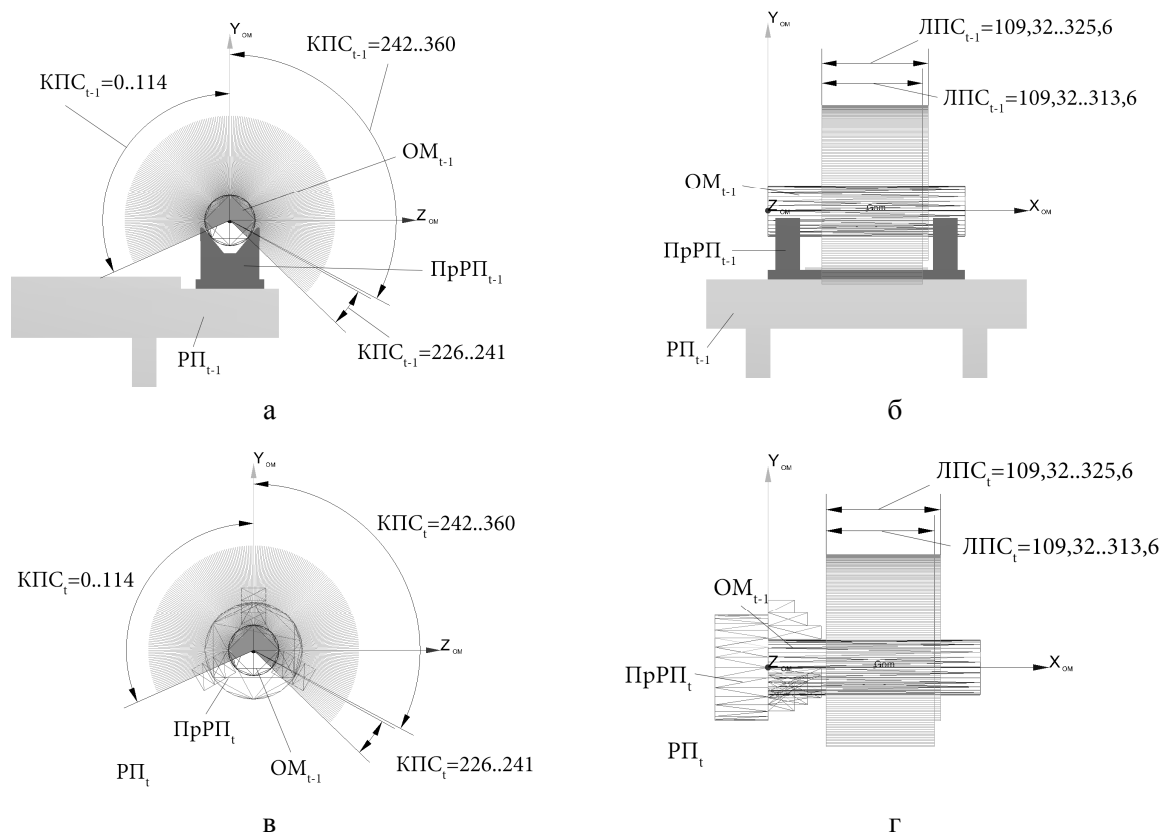


Рисунок 4 – КПС та ЛПС OM_{t-1} на RP_{t-1} (а, б) та RP_t (в, г) із врахуванням історії обробки OM_{t-1}

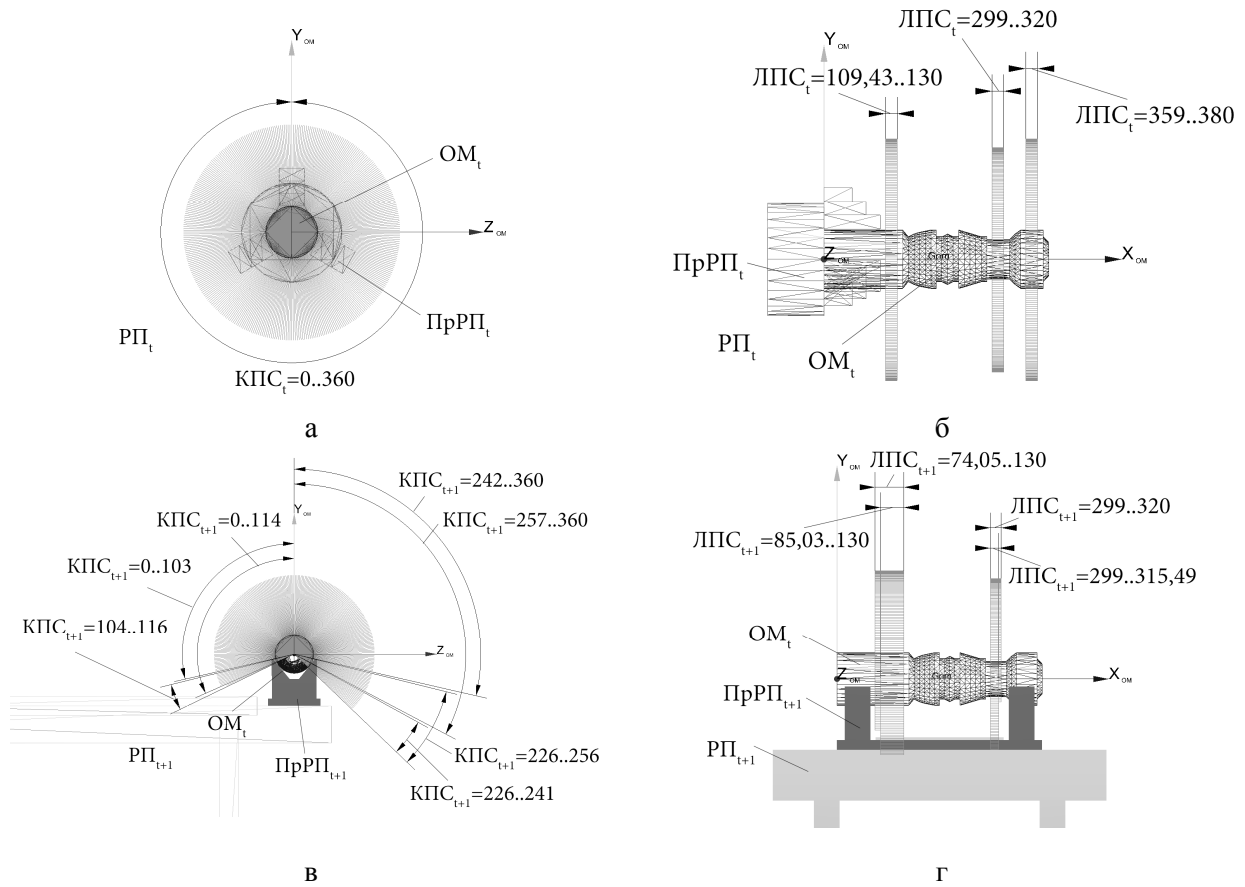


Рисунок 5 – КПС та ЛПС OM_t на RP_t (а, б) та RP_{t+1} (в, г)

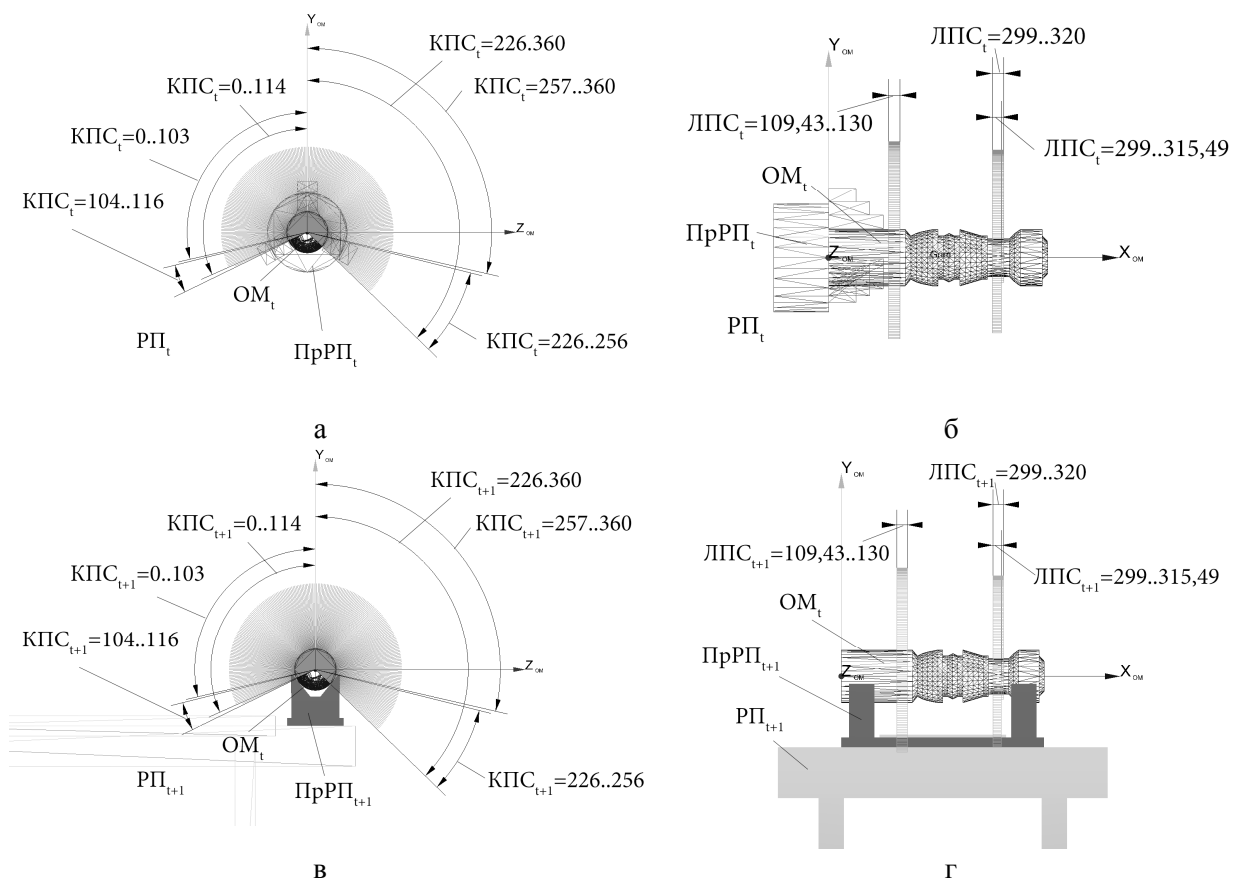


Рисунок 6 – КПС та ЛПС OM_t на RP_t (а, б) та RP_{t+1} (в, г) із врахуванням історії обробки OM_t



Висновок. Запропонований підхід щодо визначення ТПС для циліндричних нерухомих ОМ, що за змістом та сутністю відповідає векторно-проекційній складовій ТВ, дозволяє сформувавши інформаційну базу ТПС для кожної РП, що в подальшому буде використана для забезпечення ефективних положень (ЛПС) та орієнтацій (КПС) Сх із врахуванням всієї множини РП ГВК згідно маршруту технологічної дії на ОМ, а також технологічних операцій завантаження/розвантаження кожної з них. Це зменшує множину аналізованих альтернатив щодо кількості точок затиску ОМ в Сх та дає можливість в подальшому перевіряти за прийнятими критеріями, наприклад, мінімуму часу та потужності роботи ПР, мінімальної відстані між полюсом Сх та центром мас ОМ доцільність затиску ОМ в Сх в межах визначених КПС та ЛПС. Вказане підвищує ступінь наукової обґрунтованості рішень, що приймаються при проектуванні механоскладальних ГВК. Результати даної роботи є необхідною складовою АС РМСТ, що розробляється в Житомирському державному технологічному університеті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мельничук П. П. Задачі технологічної взаємодії схватів промислових роботів з об'єктами маніпулювання в механоскладальних гнучких виробничих комірках / П. П. Мельничук, В. А. Кирилович, Р. С. Моргунов // Збірник наукових праць Житомирського державного технологічного університету «Процеси механічної обробки в машинобудуванні». – Житомир, 2011. – Вип. № 10. – С. 24-41.
2. Корендясев А. И. Теоретические основы робототехники : В 2 кн. / под ред. С. М. Каплунова. – М. : Наука, 2006.
3. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів : навчальний посібник. – Тернопіль : Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. – 232 с.
4. Челпанов И. Б. Схваты промышленных роботов / И. Б. Челпанов, С. Н. Колпашников. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1989. – 287 с.
5. Monkman G. J. Robot grippers / G. J. Monkman, S. Hesse, R. Steinmann, H. Schunk. – Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. – 452 p.
6. Siciliano Bruno. Springer Handbook of Robotics / Bruno Siciliano, Oussama Khatib. – Berlin : Springer, 2008. – 1631 p.
7. Xiong Chiahua. Fundamentals of robotic grasping and fixturing / Chiahua Xiong, Han Ding, Youlun Xiong – USA : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007. – 229 p.
8. RobotWorks. Robotic interface for SolidWorks: [Електронний ресурс] – 01.05.2013. – Режим доступу: <http://www.robotworks-eu.com/products/RBWabout.htm>.
9. Robot 3D Software - Ficer: [Електронний ресурс] – 01.05.2013. – Режим доступу: <http://www.ficergroup.com/steel-fabrication/software/product=robot-3d-27122029>.
10. RobotExpert: Siemens PLM Software: [Електронний ресурс] – 01.05.2013. – Режим доступу: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/robotics_automation/robotexpert.shtml.
11. Dyn-Soft RobSim 5: [Електронний ресурс] – 01.05.2013. – Режим доступу: <http://www.robsim.dynsoft.ru/index.php>.
12. Robotmaster: [Електронний ресурс] – 01.05.2013. – Режим доступу: <http://www.robotmaster.com/product.php>.
13. IFR International Federation of Robotics: [Електронний ресурс] – 01.05.2013. – Режим доступу: <http://www.ifr.org/>.
14. Кирилович В. А. Інформаційна модель об'єктів маніпулювання для умов роботизованих механоскладальних технологій / В. А. Кирилович // Вісник ЖДТУ : Технічні науки. – Житомир. – 2009. – № 4 (51). – С. 27-36.



15. Кирилович В. А. Щодо інформаційних моделей пристосувань технологічного обладнання / В. А. Кирилович, Р. С. Моргунов // «Інформаційно-комп'ютерні технології 2012»: тези VI Міжнар. наук.-техн. конф. (4–6 жовтня 2012р.). – Житомир : ЖДТУ, 2012 – С. 68.
16. Кирилович В. А. Автоматизированная классификация зон обслуживания технологического оборудования промышленными роботами / В. А. Кирилович, К. Г. Биденко, Н. В. Макаренко // *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*. – № 261. – *Mechanika*. – z.76. *Materialy III Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej «Modułowe technologie i konstrukcje w budowie naszyn»*. – МТК –2009. – Poland, Rzeszow, 2009. – S. 89-95.
17. Кирилович В. А. Формування функціональних моделей схватів промислових роботів / В. А. Кирилович, П. П. Мельничук, Р. С. Моргунов // Міжнародний збірник наукових праць «Прогресивні технології і системи машинобудування». – Донецьк, 2012. – Вип. № 1, 2 (44). – С. 110-115.
18. Кирилович В. А. Узагальнена функціональна модель промислових роботів / В. А. Кирилович, Р. С. Моргунов // Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні». – Львів, 2013. – Вип. № 746. – С. 66-70.
19. Melnychuk P. Использование теории кватернионов для формирования функциональных моделей манипуляционных систем промышленных роботов / Petro Melnychuk, Valeriy Kyrylovych, Oleksandr Pysarchyk // *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*. – № 279. – *Mechanika*. – Z. 83(nr. 1/2011). – S.103-112.
20. Allison D. C. S. Computing the Three-Dimensional Convex Hull / D. C. S. Allison, M. T. Noga. – *Computer Physics Communications*. – 1997. – Vol. 103, No. 1. – P. 74-82

Кирилович В.А., Мельничук П.П., Моргунов Р.С. МЕТОДИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕРВИСА ДЛЯ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Рассмотрено автоматизированное определение векторно-проекционных составляющих технологического взаимодействия схватов промышленных роботов с цилиндрическими объектами манипулирования на неподвижных приспособлениях. Приведена пошаговая методика формирования линейных и угловых параметров сервиса технологического взаимодействия.

Ключевые слова: технологическое взаимодействие, схват, объект манипулирования.

Kyrylovych V.A., Melnychuk P.P., Morgunov R.S. METHODOICAL AND SOFTWARE DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL SERVICE PARAMETERS FOR ROTATION BODIES

The automated determination of the vector-projection components of industrial robots grippers' technological interaction with cylindrical objects of manipulation on fixed devices is presented. The method of linear and angular technological service parameters formation is proposed.

Keywords: technological interaction, gripper, object of manipulation.



МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ КОММУНИКАЦИИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Нарожный А.В.

Одесский национальный политехнический университет

В статье рассматриваются принципы построения и эффективность использования мультиагентной системы, в которой агент имеет коллективное восприятие целей и задач всей группы.

Ключевые слова: агент, принятие решения, мультиагентная система.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями. Эффективное развитие предприятий в современных условиях предполагает высокую степень специализации и кооперации работ. Кооперация – одна из важнейших сторон современной индустрии, охватывающая все сферы деятельности человека: науку и производство, торговлю, услуги и т.д. Проблемы кооперации компаний тесно связаны с проблемами их внутренней организации. Одним из путей решения этой проблемы может являться создание интеллектуальных систем управления и поддержки групповой согласованности действий.

Анализ последних исследований и публикаций и выделение нерешенных задач проблемы. Коллективное решение способствует реализации процесса взаимопомощи, позволяет рассматривать проблему в широком спектре решений, дает возможность объективно оценить ситуацию, повышает индивидуальную и коллективную ответственность за решения и их осуществление, т.к. решения принимаются на основе коллективного разума. Процедура принятия коллективного решения на основе согласования индивидуальных предпочтений членов группы производится на основе принципа группового выбора, который определяет правило согласования и выбора наилучшего решения.

В мультиагентной системе агент, который не способен решить некоторую задачу самостоятельно, может обратиться к другим агентам. Другой вариант, когда необходима кооперация – использование коллектива агентов для решения одной общей сложной задачи. При этом агенты могут планировать действия, основываясь уже не только на своих возможностях, но и «думать» о планах и намерениях других агентов.

Формулировка целей статьи. В работе для решения проблемы кооперации рассматривается подход, базирующийся на идее Среды и Агентов деятельности.

В отличие от известных подходов, данный подход реализуется созданием общей среды деятельности кооперирующих сторон и среды деятельности каждой из них, т.е. путем создания единой комплексной среды деятельности коллектива пользователей, обеспечивающей воспроизводство главных компонент процесса деятельности каждой организации и взаимопонимание между людьми. Использование Интеллектуальных агентов в комбинации со средой действий и рассуждений позволяет пользователям моделировать три главных направления кооперации: коллективное поведение, мышление и коммуникацию участвующих сторон. За счет этого каждой из сторон на своего агента может быть возложена миссия согласования большинства возникающих проблем.

В рассматриваемом подходе среда действий – это модель среды деятельности, базирующаяся на знаниях. Главное ее отличие от традиционных систем моделирования состоит в том, что эта система содержит модель пространства и предоставляет прямой доступ к объектам среды в этом пространстве для выполнения действий, моделируя реакцию на эти воздействия в соответствии с законами среды.

Изложение материалов исследования. Для моделирования процесса коммуникации между Пользователями (П) или их Агентами (А) в разрабатываемой мультиагентной системе создается виртуальное пространство. Виртуальное пространство может реализовываться как через локальную, так и через глобальную сети (рис. 1).

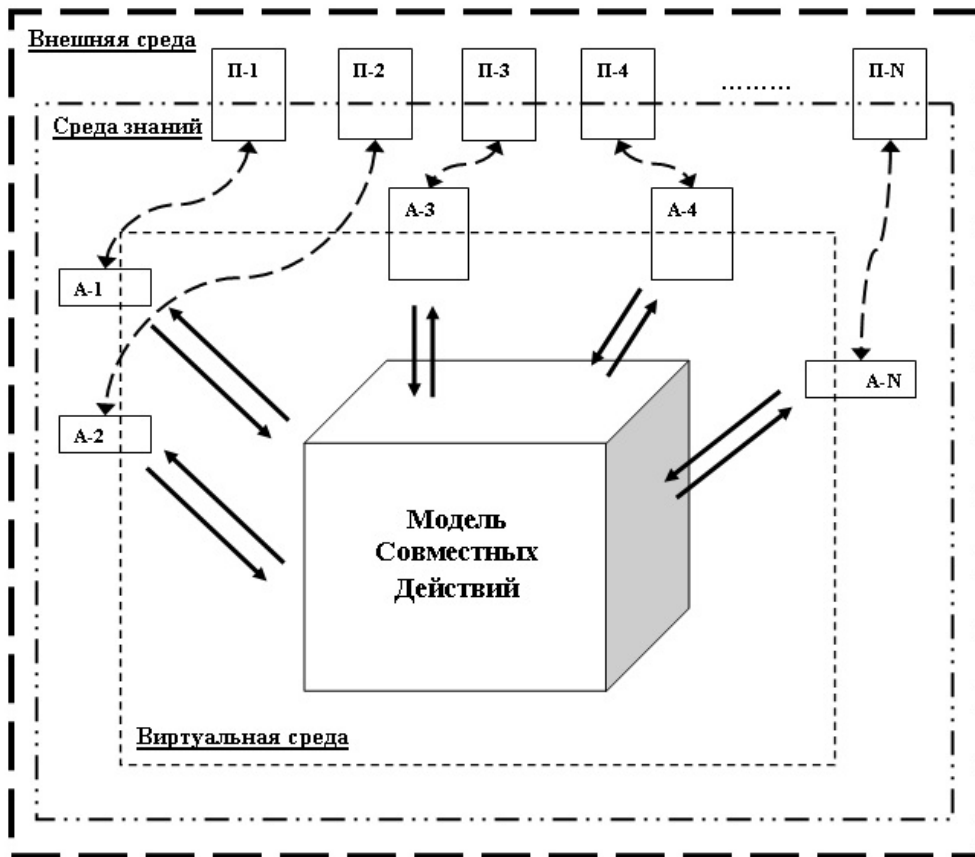


Рисунок 1 – Коммуникационный механизм Пользователей и Агентов в Виртуальном пространстве

Процедура согласования решений организуется следующим способом:

1) конфигурируется начальная сцена общего для всех агентов пространства действий и задаются цели (задача), общие ресурсы и ограничения;

2) каждый из агентов запускает процесс восприятия, планирования действий и их исполнения в зависимости от текущего состояния пространства (при этом загружается необходимая среда знаний и строится модель сценария действий); первый из агентов, спланировавший свою деятельность делает первый ход, предлагая первое действие из своего сценария;

3) если действие удовлетворяет общим ограничениям и не вызывает противоречий с планами других агентов, оно считается предварительно принятым. Если нарушены общие ограничения, агент обязан поменять свои планы, если эти ограничения не нарушены, необходимо решить, кто будет вынужден изменять свои планы: первый агент или другие, сделавшие свои ходы ранее;

4) очередные агенты делают свои ходы, выполняя очередные действия из своих сценариев. Если какой-либо агент вынужден поменять свое решение на каком-либо ходу, делается откат всего процесса коммуникаций для этого этапа и весь процесс согласования начинается вновь и т.д.

5) процесс согласования заканчивается, когда достигнута заданная цель.



Данная процедура связана с возможным перебором всех вариантов решений – скорость ее сходимости зависит от глубины базы знаний и интеллектуальных способностей агентов.

Рассмотрим подход к организации коммуникаций (взаимодействия) агентов. В рамках предметной области мультиагентных систем взаимодействия между агентами наиболее удобно описывать множественно-логическими связями.

Пусть имеется множество агентов – $I, i \in I, i = 1, \dots, t,$

A – множество альтернатив, факторов, событий, о которых выносят свои суждения индивидуумы из множества I .

Обозначим через P_i ранжировку альтернатив из A указанную i индивидуумом.

Ранжировка отношение строгого порядка, т.е имеет место быть такие аксиомы:

1. Антирефлексивность $\forall a \in A, \neg(aP_i a)$.
2. Транзитивность $\forall a, b, c \in A; (aP_i b) \wedge (bP_i c) \Rightarrow \neg(aP_i c)$.
3. Ассиметричность $\forall a, b \in A; aP_i b \Rightarrow \neg(bP_i a)$.

Для $a, b \in A$ запись « $aP_i b$ » означает, что i индивидуум считает a предпочтительнее b .

Если a, b считаются i индивидуумом связанными, то имеется отношение «безразличия» – « $aT_i b$ ».

Профиль группы (коллектива) определяется как набор ранжировок отдельных индивидуумов коллектива (P_1, \dots, P_n) .

Совокупность всех возможных ранжировок – $\rho = \rho(A)$.

Совокупность всех возможных профилей t индивидуумов на множестве A – $\rho_t = \rho \times \rho \times \dots \times \rho$.

Групповая функция согласования – $F : \rho \rightarrow \rho_t$.

Обобщим данное понятие на случай когда в результате голосования получается не одна групповая ранжировка P_g , а несколько альтернативных групповых ранжировок P^1, \dots, P^m , где $m < n$.

Тогда можно ввести понятие тура голосования, на каждом следующем туре число альтернативных групповых ранжировок уменьшается, в результате чего должна остаться одна единственная ранжировка группового выбора.

На основе аксиомы Эрроу – набор аксиом определяющих «справедливую» функцию группового выбора определим:

1. Универсальность

Для любого профиля голосования существует результат – упорядоченный список из n альтернатив.

2. Отсутствие «диктатора»

Нет «избирателя», предпочтение которого определяло бы результат выборов независимо от предпочтений других «избирателей».

3. Независимость от посторонних альтернатив

Если для любой пары альтернатив x и y профиль голосования изменится, оставив порядок x и y тем же, не изменится их порядок и в окончательном результате.

4. Эффективность по Парето, или принцип единогласия

Если у каждого избирателя альтернатива a в списке стоит выше b , это же должно быть и в окончательном результате.

В данной работе не рассматривается процесс изменения основной исследуемой структуры, которая задается только индивидуальными ранжировками, и учитывается



большой поток информации, где в особенности обращается внимание на интенсивность предпочтений индивидуумов разных альтернатив.

Альтернативой этому подходу было бы, использование меньшего потока информации. Можно собирать информацию лишь о наиболее предпочтительной для каждого индивидуума альтернативе. В силу теоремы Эрроу о невозможности коллективного выбора многими исследователями рассматривалась возможность изменения аксиом Эрроу. Однако, не существует универсального набора аксиом, не приводящих к определенным трудностям, поэтому в данной работе требования к групповому выбору будут основываться на аксиомах Эрроу.

Также принято рассматриваются централизованные механизмы управления голосованием и расчета функции группового выбора, например с помощью подсчета простого большинства, метода Борда и т.д. Использование коллективного выбора в системах управления требует децентрализованного проведения голосования.

Для этого вместо функции группового выбора вводится понятие расстояния между ранжировками: $d(P_i, P_j) : \rho(A) \times \rho(A) \rightarrow R$, где R – область действительных чисел.

В роли индивидуумов, принимающих групповые решения, рассматривается модель конечных автоматов $I_j, j = 1..t$.

Каждый, из которых содержит K состояний – число ранжируемых объектов.

1. Случайное разбиение на пары (или на группы по m объектов, N), тогда автоматы, которые не вошли в группу в очередном туре голосования, сохраняют свои предпочтения.

2. Для каждой пары (группы) вычисляется степень рассогласования (функция расстояния между ранжировками). Мера рассогласованности характеризует степень успешности коллективного голосования.

3. Случайным образом из группы выделяется отдельный автомат. Автомат выделяет в мере рассогласования элемент, вносящий наибольшее рассогласование, и с вероятностью $(1 - \varepsilon)$ переходит из этого состояния в другое состояние, с шагом в ω – степень конформизма (т.е. переставляет объект с одной позиции на другую).

4. Новый тур голосования, вновь создаются случайные группы и выделяется автомат.

В результате коллектив агентов выходит на устойчивую точку – точку Неша, т.е. равновесие по принципу «как большинство так и я».

Выводы и перспективы использования. В работе представлен мультиагентный подход к моделированию процессов самоорганизации и кооперации. Особенности подхода связаны с конструированием виртуальных пространств деятельности пользователей и созданием интеллектуальных агентов для них. Рассмотренные принципы кооперации действий агентов, для решения задач и достижения общих целей, реализуют подход, который обеспечивает создание мультиагентных систем управления способных к адаптации и самовосстановлению в случае сбоев в работе, а так же к согласованию в работе распределенных систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ехлаков Ю. П. Теоретические основы автоматизированного управления : Учебник / Ю. П. Ехлаков. – Томск : Изд-во Томск. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2001. – 337 с.

2. Ямпольский В. З. Теория принятия решений : Учебное пособие для студентов вузов / В. З. Ямпольский. – Томск : Изд-во ТПИ, 1979.

3. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах : Учебник / О. И. Ларичев – М. : Логос, 2002. – 392 с.



4. Миркин Б. Г. Проблема группового выбора / Б. Г. Миркин – М. : Наука, 1974.
5. Vittikh V. A. Multi-agent systems for modeling of self-organization and cooperation processes // Електронний ресурс - [Режим доступу] : <http://www.cs.brandeis.edu/dept/faculty/mataric>
6. Project of multi-agent technology in difficult systems // Електронний ресурс. - [Режим доступу] : <http://www.ouh.nl/>

Нарожний О.В. МУЛЬТИАГЕНТНИЙ ПІДХІД В ЗАДАЧАХ КОМУНІКАЦІЇ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У статті розглядаються принципи побудови та ефективність використання мультиагентної системи, в якій кожний агент має колективне сприйняття мети та задач всієї групи.

Ключові слова: агент, прийняття рішень, мультиагентна система.

Narozhniy A.V. MULTI-AGENT APPROACH IN TASKS OF COMMUNICATION AND MAKING DECISION

The article rozhyalyadayutsya principles and effectiveness usage of multi-agent system where each agent has a collective perception of the purpose and objectives of the group.

Keywords: agent, making decision, multi-agent system.



СИНТЕЗ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ДОБЫЧИ, ПЕРЕРАБОТКИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ГАЗА

Нефедов Л.И., Шевченко М.В., Кудырко О.Н., Василенко О.В.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

В статье рассмотрены особенности функционирования и синтеза систем управления качеством. Обоснована необходимость синтеза системы управления качеством добычи, переработки и транспортировки газа, произведено разделение на этапы синтеза. Разработана структура комплекса задач системы мониторинга качества добычи, переработки и транспортировки газа.

Ключевые слова: синтез, управление, качество, мониторинг, декомпозиция.

Постановка проблемы и анализ публикаций. Система управления качеством (СУК) представляет собой в общем случае совокупность организационной структуры, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления управления качеством. В само понятие «управление качеством» входит несколько аспектов: общие, технические, экономические и управленческие. При синтезе системы управления качеством необходимо объединить все аспекты с функциональной точки зрения таким образом, чтобы возможно было координировать все работы, связанные с исследованиями, разработками, повышением производительности труда и эффективности процессов и качества.

Синтез СУК добычи, переработки и транспортировки газа должен вестись с учетом их управляемости и уровня автоматизации этих процессов, с учетом неопределенности исходных данных, условий внешней среды, объекта и критериев управления качеством, что не позволяет создать в полной мере оптимальную СУК и обуславливает дискретное управление с участием ЛПР. В общем случае синтезируемая СУК должна обеспечивать выполнение следующих функций: планирование, выполнение, контроль, управляющее (корректирующие) воздействие. Что соответствует наиболее распространенной модели постоянного улучшения качества (круг Деминга) [1].

Требования к показателям качества изложены в ДСТУ ISO 9001-2009. Так в стандарте [2] говорится о необходимости проведения мониторинга по нескольким группам показателей (процесса; продукта процесса; удовлетворённости пользователей процесса) для процессов управленческой деятельности руководства, обеспечения ресурсами, жизненного цикла продукции, измерения, анализа и улучшения. При этом под понятием «продукция» также подразумеваются и услуги. Технологию реализации измерения процессов и выбора соответствующих средств измерения, а, соответственно, и самой системы мониторинга, каждое предприятие определяет индивидуально, так как в требованиях стандарта это не описано в связи с его универсальностью.

Проблема проектирования магистральной газотранспортной системы (ГТС) и создание систем управления качеством для нее рассматривалась многими авторами [3, 4] с принятием решений по использованию средств телемеханики для мониторинга, контроля и управления транспортом газа. Проблеме синтеза системы управления качеством добычи и переработки газа практически не уделялось внимания.

Можно сделать вывод о необходимости синтеза и проектирования в настоящий момент системы мониторинга добычи, переработки и транспортировки газа, разработки принципов оценки качества функционирования системы мониторинга и создания СУК добычи, переработки и транспортировки газа, для которой показания системы мониторинга выступают в качестве исходных данных.

Формулировка целей и постановка задачи. Цель исследования можно сформулировать как удовлетворение информационных потребностей множества подразделений СУК добычи, переработки и транспортировки газа (ДПТГ) за счет синтеза системы мониторинга.



Все характеристики СУК зависят от ее структурной и пространственной организации, а также основных параметров.

Постановка общей задачи следующая: известно множество подсистем системы газоснабжения, их местоположение, структурные, топологические и параметрические характеристики, перечни задач, требующих решения с описанием взаимосвязей, информационных и технических характеристик в зависимости от уровня автоматизации, а также допустимое множество программно-технических средств, их функциональные и стоимостные параметры и места возможного размещения. Необходимо определить структурно-топологические и функциональные параметры СУК и алгоритмы управления ее функционированием для постоянного улучшения качества добычи, переработки и транспортировки газа.

Результаты исследований. С точки зрения структуры и функционального назначения систему газоснабжения можно представить укрупнено в виде пяти относительно независимых по характеру и критериям функционирования подсистем [5]:

- источники природного газа и сооружения по его добыче;
- сооружения по его обработке (переработке, подготовке)
- магистральные газовые сети;
- региональные распределительные сети;
- потребители газа (рис. 1).

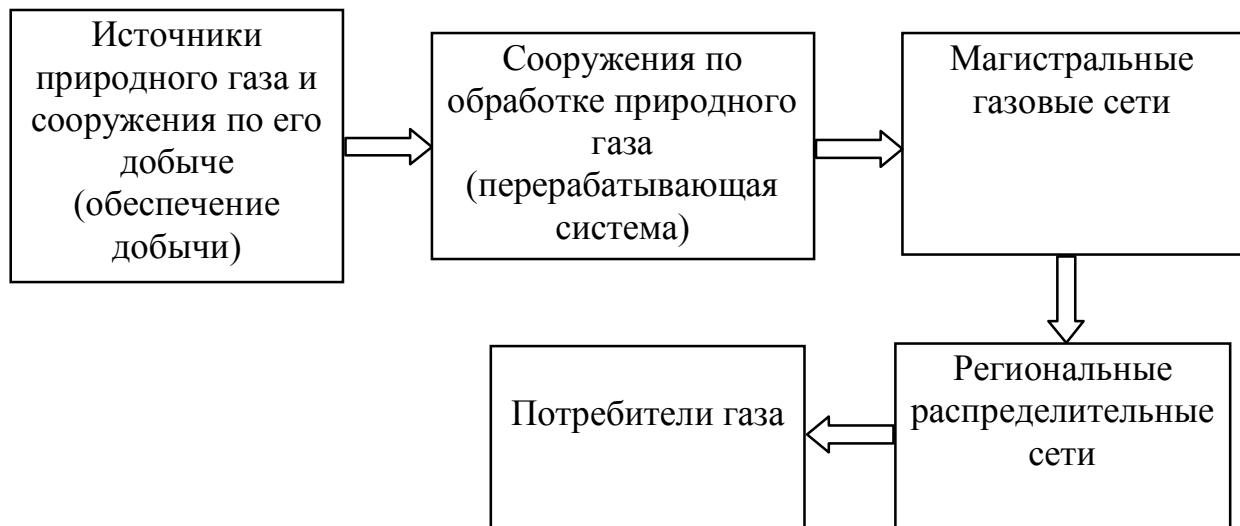


Рисунок 1 – Функциональная структура системы газоснабжения

Назначение первых двух подсистем – подготовка заданного количества природного газа. Основное назначение третьей подсистемы – транспорт газа к местам его потребления (города, регионы) или накопления (хранилища). Назначение четвертой подсистемы – доставка и распределение газа конкретным потребителям определенного региона.

В общем случае разрабатываемая СУК должна охватывать все 5 этапов, представленных на рисунке 1, но поскольку комплексно такую задачу решить трудно с единых системных позиций, возможно создание СУК для каждой из представленных подсистем. Такая СУК ДПТГ, для каждой из подсистем, может использовать управляющие (корректирующие) действия (согласно «круга Деминга»), оценивать эффективность газотранспортной системы и проводить постоянное улучшение, как того требует процессный подход (рис. 2), согласно представленному в ДСТУ ISO 9001-2009 с помощью соответствующих систем поддержки принятия решений.

Проблему синтеза СУК добычи, переработки и транспортировки газа в такой общей постановке решить трудно как из-за сложности вычислений и неопределенности исходной информации, так и из-за трудоемкости обследования всех подсистем системы газоснабжения, а также неопределенности, связанной с идентификацией некоторых



характеристик только в процессе функционирования и развития технических и информационно-программных средств и технологий и системы газоснабжения в целом. Указанные трудности можно преодолеть декомпозицией исходной проблемы на частные, следуя основным принципам декомпозиционного подхода, когда каждый предыдущий этап синтеза должен сужать область допустимых решений последующего этапа. А результаты, принятые на нижележащих уровнях, учитывают при коррекции решений вышележащих уровней.



Рисунок 2 – Модель СУК, в основе которой заложены процессы

Для синтеза устойчивой и эффективной СУК на первом этапе необходимо реализовать систему мониторинга, которая бы охватывала первые четыре из представленных подсистем (рис. 1) и повышала удовлетворенность пятой подсистемы путём выполнения требований, изложенных в ДСТУ ISO 9001-2009.

Под мониторингом понимают [6]: слежение, надзор, содержание под наблюдением; измерение или испытание через определённые интервалы времени, главным образом, с целью регулирования и управления. В данном определении подчёркивается регулярность, повторяемость, некоторая периодичность процесса мониторинга. Кроме того, подчёркивается направленность мониторинга на регулирование того процесса, который является объектом мониторинга. Согласно [7], мониторинг – это непрерывное комплексное наблюдение за объектами, измерение параметров и анализ их функционирования.

Таким образом, реализация процесса мониторинга представляет собой решение двух задач:

- наблюдение, измерение параметров объекта;
- оценка и анализ его функционирования.

Для реализации первой задачи мониторинга необходимо найти ответы на вопросы:

– Что отслеживаем, наблюдаем, измеряем? Определить показатели и единицы измерения.

- Где измеряем? Определить контрольные точки измерения.
- Чем измеряем? Определить средства измерения.
- Как и сколько раз измеряем? Определить методики и план измерения.



Для решения второй задачи мониторинга на следующем этапе синтеза СУК ДПТГ, а именно для решения таких задач качества как контроль и использование корректирующих воздействий, необходимо оценить качество работы синтезированной на первом этапе системы мониторинга.

После чего происходит непосредственная оценка и анализ результативности показателей добычи, переработки и транспортировки газа. На завершающем этапе производится разработка системы поддержки принятия решений (СППР), которая позволяет принимать решения по улучшению качества добычи, переработки и транспортировки газа. Все этапы СУК ДПТГ взаимосвязаны между собой и должна быть обеспечена обратная связь после принятия решений о улучшении качества добычи, переработки и транспортировки газа, что позволит корректировать не только плановые решения при управлении ресурсами (согласно кругу Деминга и процессному подходу), но и при управлении измерениями (рис. 2). Общая схема СУК, состоящая из перечисленных этапов может быть представлена в виде схемы, показанной на рисунке 3.

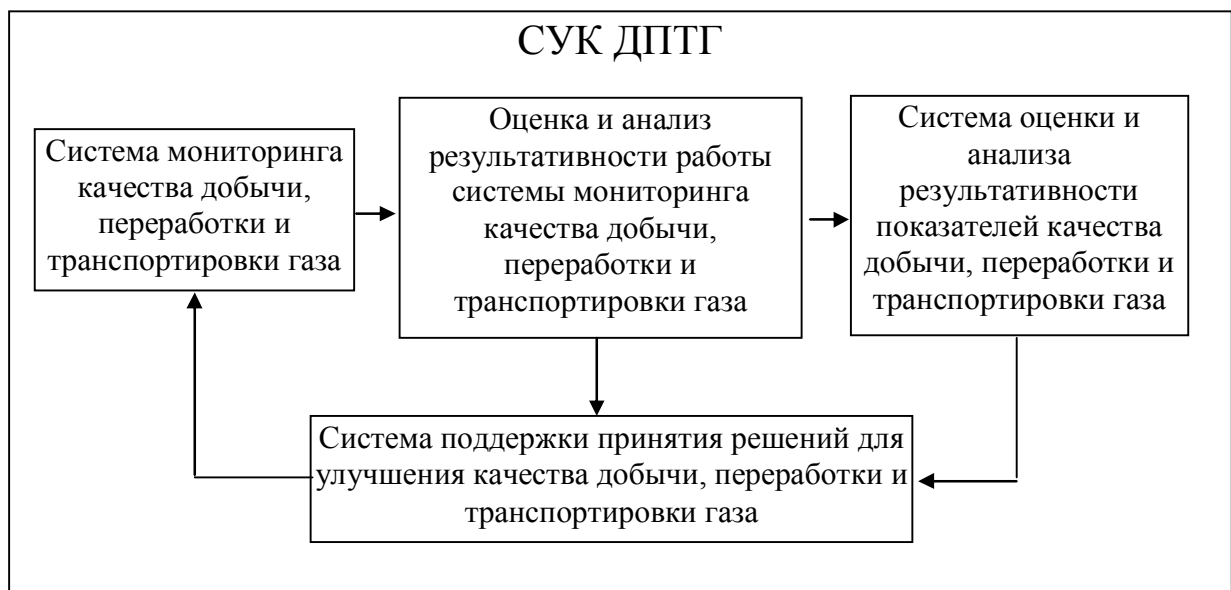


Рисунок 3 – Функциональная структура СУК

В случае, когда результативность функционирования системы мониторинга не удовлетворяет заданным требованиям, предусмотрен переход к СППР улучшения качества системы мониторинга ДПТГ. Что позволит принять корректирующие решения по модернизации, развитию либо реинжинирингу системы мониторинга качества ДПТГ.

Для обеспечения первого этапа СУК ДПТГ необходимо синтезировать систему мониторинга качества ДПТГ, которая будет удовлетворять заданным ограничениям и экстремизировать выбранные критерии эффективности.

Иерархия решения комплексов задач синтеза системы мониторинга качества ДПТГ представлена на рисунке 4.

В работе принята следующая иерархия решения комплексов задач синтеза системы мониторинга качества ДПТГ:

1) при анализе особенностей мониторинга качества ДПТГ производится постановка общей проблемы синтеза системы мониторинга качества ДПТГ. В ходе постановки проблемы оцениваются сложность вычислений, полнота и достоверность исходной информации, трудоемкость обследования, возможность идентификации некоторых характеристик в процессе функционирования, возможность эволюции требований абонентов, технических средств и системы в целом. Если возникают указанные трудности, то их можно преодолеть в рамках методологии системного анализа декомпозицией



исходной проблемы на несколько условно-независимых подпроблем, которые, в свою очередь, разделены на комплексы задач, задачи, подзадачи и т. д.;



Рисунок 4 – Структура комплекса задач синтеза системы мониторинга качества ДПТГ

2) обоснование принципов функционирования состоит в анализе предметной области и функциональных особенностей системы мониторинга качества ДПТГ. Результатами являются сформированные принципиально важные ограничения по структуре, топологии, функциональным характеристикам системы;

3) функционально-топологический синтез структуры реализуется в рамках экзогенных ограничений и целей, сформированных на первом этапе, и состоит в определении оптимальных характеристик структуры системы мониторинга качества ДПТГ (количества уровней иерархии, количества мест расположения, функциональных характеристик элементов на каждом из них, типов коммуникационных связей, списков абонентов). Полученные решения являются экзогенными ограничениями для следующего уровня задач;

4) разработка алгоритмов (технологии) функционирования и управления системой мониторинга качества ДПТГ [8].



Такая иерархия предусматривает возможность итерационного решения каждого из комплексов задач с учетом результатов, полученных на последующих этапах и уточняющих ограничения или исходные данные, т. е. с учетом обратных связей.

Такая иерархия предусматривает возможность итерационного решения каждого из комплекса задач.

Для анализа и оценки эффективности системы мониторинга, другими словами для оценки качества функционирования синтезированной системы мониторинга ДПТГ можно использовать несколько подходов: использовать обобщенные оценки эффект системы и затрат ресурсов, в этом случае необходимо решать задачу оптимизации эффективности системы мониторинга по критерию «эффект-затраты» [9]; использовать подход оценки информативности показателей анализируемой системы мониторинга [10]. При использовании второго из приведенных подходов применяются следующие допущения: максимальную информацию о системе мониторинга будут давать значения тех показателей эффективности нижестоящего уровня, которые оказывают наибольшее влияние на параметры выбора вышестоящего уровня, и значения тех параметров выбора, которые оказывают наибольшее влияние на показатели эффективности своего уровня; стоимостные ресурсы могут определяться экспертными оценками, временные – путем построения сетевых графиков проведения анализа на соответствующем уровне исследования системы мониторинга ДПТГ.

Выводы. Впервые с системных позиций комплексно рассмотрена проблема создания системы управления качеством добычи, переработки и транспортировки газа и разработана функциональная структура СУК ДПТГ. Выполнена декомпозиция общей проблемы на три взаимосвязанных подпроблемы: синтез системы мониторинга ДПТГ, разработка системы анализа и оценки качества синтезированной системы мониторинга, разработка системы поддержки принятия решений для реализации алгоритмов функционирования СУК ДПТГ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомичев С. К. Основы управления качеством : учеб. пособие/ С. К. Фомичев, А. А. Старостина, Н. И. Скрябина. – К. : МАУП, 2002. – 192 с.
2. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2008, IDT) : ДСТУ ISO 9001-2009 – К. : Держспоживстандарт України. – [Чинний від 2009-06-22] – 2009. – 26 с. – (Національний стандарт України).
3. Головань К. В. Знанняорієнтовані моделі автоматизованого робочого місця диспетчерського управління магістральним трубопровідним комплексом : Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук ; спец. 05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології / К. В. Головань – Вид. Центр «ХАІ», 2006. – 20 с.
4. Гура Л. О. Газоперекачувальні станції магістральних газопроводів / Л. О. Гура – Х. : НТУ «ХП», 2006. – 181 с.
5. Седак В. С. Компьютерные технологии в разработке и эксплуатации региональных систем газоснабжения на примере ОАО ГГО «ХАРЬКОВГАЗ» : диссертация канд.техн.наук : 05.13.06 / Седак Владимир Степанович. – Харьков, 1999. – 182 с.
6. Шадрин А. Д. Менеджмент качества. От основ к практике/ А. Д. Шадрин – М. : ООО «Трек», 2004. – 360 с.
7. Фатхутдинов Р. А. Организация производства / Р. А. Фатхутдинов – М. : ИНФА, 2002. – 672 с.
8. Нефедов Л. И. Модель планирования оценки контролируемых показателей в территориально-распределенной системе мониторинга транспорта газа / Л. И. Нефедов, М. В. Шевченко, О. В. Василенко // Зб. наук. пр. Вісник НТУ «ХП». Тематичний випуск : Інформатика і моделювання. – Харків : НТУ «ХП». – №43 – 2009 – С. 120-125.



9. Петров Э. Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э. Г. Петров, В. П. Пискалова, В. В. Бескоровайный. – К. : «Техніка», 1992 – 208 с.
10. Малин А. С. Исследование систем управления : учебник для вузов / А. С. Малин, В. И. Мухин. – М. : ГУ, 2002. – 400 с.

Нефьодов Л.И., Шевченко М.В., Кудирко О.М., Василенко О.В. СИНТЕЗ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВИДОБУТКУ, ПЕРЕРОБКИ І ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗУ

У статті розглянуто особливості функціонування та синтезу систем управління якістю. Обґрунтовано необхідність синтезу системи управління якістю видобутку, переробки і транспортування газу, зроблений розподіл на етапи синтезу. Розроблено структуру комплексу задач системи моніторингу якості видобутку, переробки і транспортування газу.

Ключові слова: синтез, управління, якість, моніторинг, декомпозиція.

Nefedov L.I., Shevchenko M.V., Kudyenko O.N., Vasilenko O.V. SYSTEM MONITORING SYNTHESIS OF QUALITY EXTRACTION, PROCESSING AND GAS TRANSPORTATION

The article describes peculiarities and operation of the synthesis of quality management systems. The necessity of synthesis of the quality management system of production, processing and transportation of gas produced by the separation of the stages of the synthesis was justified. The structure of the complex tasks of monitoring the quality of extraction, processing and transportation of gas is developed.

Keywords: synthesis, management, quality, monitoring, decomposition.



3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОРТОПЕДИЧЕСКОГО КОРСЕТА В DELCAM POWERSHAPE-FEATURECAM

Носов П.С.

Одесский национальный политехнический университет

*В статье предложена конструкция ортопедического корсета, подходы в 3D-моделировании и изготовлении его структурных элементов с помощью семейства программных продуктов Delcam pls с последующим изготовлением на станке с числовым программным управлением (ЧПУ).
Ключевые слова: ортопедический корсет, 3D-моделирование, сколиоз, системы Delcam pls.*

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями. Быстрое развитие современной медицины и науки позволило улучшить и повысить качество лечения, однако некоторые аспекты реабилитологии еще нуждаются в технических решениях, например, нарушения осанки [1].

На протяжении многих лет исправление осанки ограничивалось ношением корсетов. Но корсеты лишь играют роль жесткой оболочки, заменяя мышечный аппарат пациента, необходимый для фиксации правильной осанки. Все это определяет проблему, которая нуждается в новых подходах и современных информационных технологиях.

Анализ последних исследований и публикаций и выделение нерешенных задач проблемы. Корсеты приобретают новые формы, модификации и функции, но зачастую это проявляется в виде применения магнитов, узких специализаций под фрагменты спины, а также применение новых материалов, систем ремней и креплений [2].

В преддверии появления «интеллектуальной» одежды, оснащенной электроникой, корсеты могут получить преимущество в этой области, новые функции, поднять профилактику и лечение на новый качественный уровень.

Формулировка целей статьи. В данной статье будет показан результат проектирования компонентов компьютеризированного корсета, который будет выполнять ряд принципиально новых функций. Новая конструкция корсета сможет качественно изменить подход в диагностике и лечении отклонений осанки человека, благодаря введению таких технологических решений как: компьютеризированных систем мониторинга; модулей активного взаимодействия с телом пациента; возможности точного налаживания корсета; синхронизации и обмена данными с компьютерными системами.

Изложение материалов исследования. Предполагается, что устройство корсета будет сопровождать положение позвоночника человека и состоять их отделяемых, независимо движущихся между собой сегментов единого целого. Каждый сегмент в свою очередь будет выступать носителем устройств и модулей, расширяющие возможности конструкции и корсета в целом [3]. Конструкция будет выглядеть, как цепочка, каждым звеном, которого выступает отдельный компонент. Конструкция рассчитана на 6-8 соединенных сегментов.

Конструкция выступает в роли экспериментального прототипа. По мере появления новых модификаций и улучшений, подбору электроники и других деталей, размер сегментов может быть уменьшен для индивидуального использования пациентом [4]. Таким образом, в наиболее ответственных случаях количество сегментов может вырасти до количества позвонков пациента.

Первая и основная задача данной конструкции – сбор данных о состоянии положения позвоночника пациента. Для определения координат сегментов было решено применить 3-осевые акселерометры. Каждый компонент содержит в себе один 3-осевой акселерометр, который передает данные положения в пространстве через общую шину данных к микроконтроллеру. С помощью алгоритма идентификации по известным



порядковим номерам компонентів, можна побудувати схему, в якій буде показано положення кожного сегмента і всієї конструкції в цілому.

Орієнтуючись на отримані дані, компонент сигналізує пацієнту про положення його хребта за допомогою вбудованого модуля вібрації в кожному з сегментів. Допустимі і недопустимі положення спини встановлюються лікарем-ортопедом, при порушенні яких пацієнт отримує вібросигнал і змінить положення осанки (рис. 1-2).

Кожний акселерометр конструкції при роботі буде визначати вихідні дані у вигляді сили прискорення (в нашому випадку гравітації) G на кожну вісь (x, y, z). З допомогою алгоритму і отриманих даних можна визначити положення сегмента в просторі.

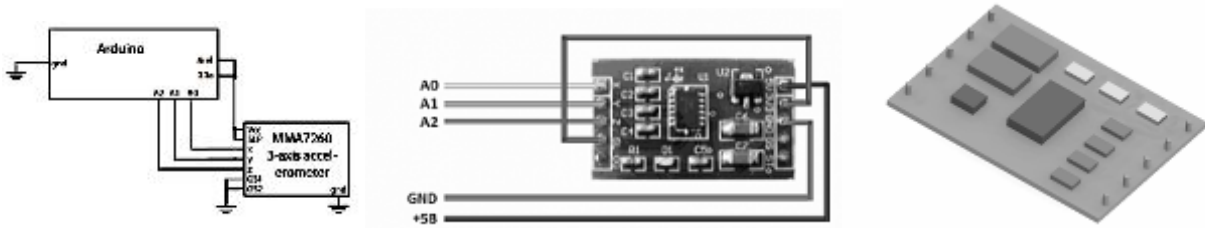


Рисунок 1 – Осевий акселерометр MMA7260

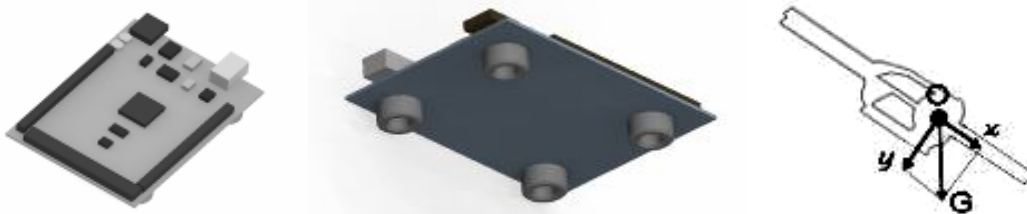


Рисунок 2 – Модуль центру управління компонентом

Конструкція сегмента повинна бути не тільки простою і функціональною, але і легко піддаватися виробництву і серійному виробництву. Компонент і інші деталі конструкції будуть виготовлятися за допомогою багатократних форм для лиття.

Форми для лиття не тільки легко виробляються і замінюються, але і дозволяють економити матеріал на створення. Литейні форми дозволяють значно зекономити на матеріалі, не приміняючи заготовок і дорогого комп'ютеризованого обладнання.

Створення твердотільної моделі компонента в Delcam Powershape.

Першим етапом у створенні конструкції для корсета є створення тривимірної моделі компонента в програмі Delcam Powershape. Конструкція повинна відповідати всім вищепереліченим вимогам: компактний розмір, міцність і достатній внутрішній об'єм, можливість модифікації, надійність кріплення до тіла.

Згідно з усіма критеріями і вимогами, компонент конструкції отримав оптимальні форми (рис. 3):



Рисунок 3 – Загальний вигляд компонента конструкції



Основой проектируемого корсета является твердотельная металлическая конструкция (1), в которую установлены все сенсоры и модули. Конструкция состоит из последовательно соединенных компонентов, каждый из которых имеет возможность перемещаться во всех трех плоскостях пространства относительно другого компонента с помощью шарнирных креплений (3). Шарнир и стержень будет зафиксирован в гнезде со съемной крышкой (2).

Расстояние между сегментами регулируется вручную гнездами межсегментного соединения (5) при необходимости. Отделение одного сегмента от другого возможно при удалении крышки шарнира или ослаблением крепления стержня в межсегментном соединении, таким образом можно изменить количество сегментов и длину конструкции в целом, или быстро менять компоненты при необходимости.

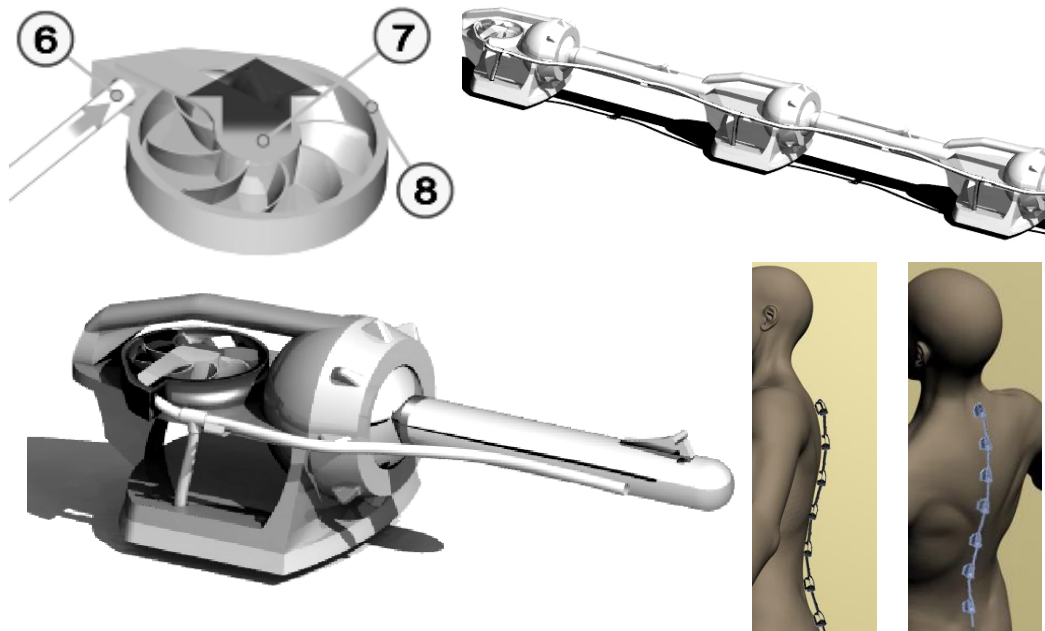


Рисунок 4 – Система вывода воздуха

Для создания области низкого давления, один из первых компонентов оснащается системой вывода воздуха (рис. 4). Система вывода воздуха состоит из системы трубок (6), которые соединяют все компоненты в одну систему; вывод воздуха происходит под влиянием работы вентилятора, форма вентилятора имеет вид раковины с открытым верхом и отверстием для подачи воздуха сбоку.

Компонент оснащен прикрепляемым поддоном (рис. 5), который выполняет функцию фиксации в паре с системой вывода воздуха и не позволяет сегменту скользить по телу пациента. Поддон крепится к корпусу с помощью конструктивных отверстий (9). Материал детали – упругий полимер или металлическая деталь с мягким прорезиненным покрытием. Дополнительно сегменты присоединяются к тканевой основе вспомогательного корсета.

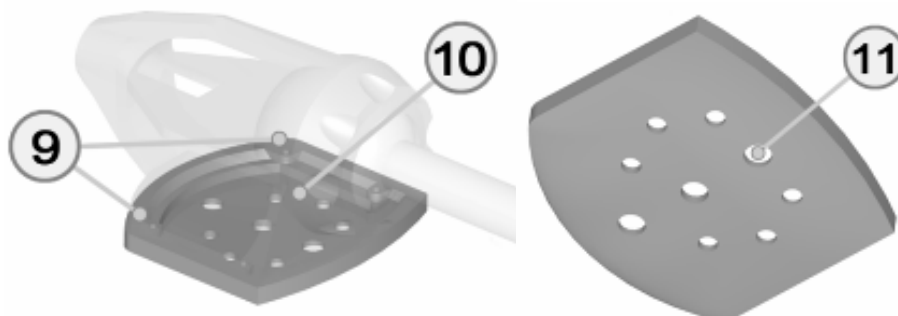


Рисунок 5 – Поддон сегмента



Поддон имеет полое внутреннее пространство (10), в нижней части которого сделаны отверстия (11). Создание области низкого давления во внутреннем пространстве поддона, присоски или отверстия под разностью давлений прижимаются к телу носителя, тем самым фиксируя сегмент в необходимой области тела.

Основной задачей конструкции является сбор данных в виде координат для определения положения каждого сегмента в пространстве. Такая система, кроме акселерометров, требует процессор, память, постоянный источник питания. Обязательным элементом в соединительной части системы между акселерометрами и центром управления являются мультиплексоры. Размеры мультиплексора компактные, модуль может быть размещен в любом варианте вблизи «центра управления» сегмента.

На рисунке 6 изображен сегмент, который оснащен модулями. Память и процессор исполняют роль «центра управления». В их задачи входят: сбор информации, ее хранение, вычисление простых операций и передача результатов на устройство хранения.

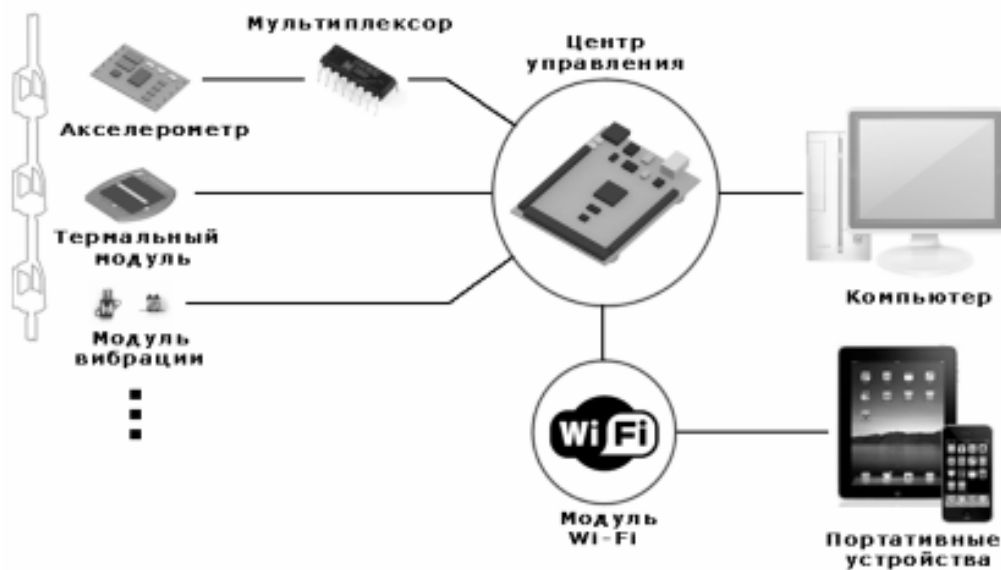


Рисунок 6 – Логическая схема работы «центра управления»

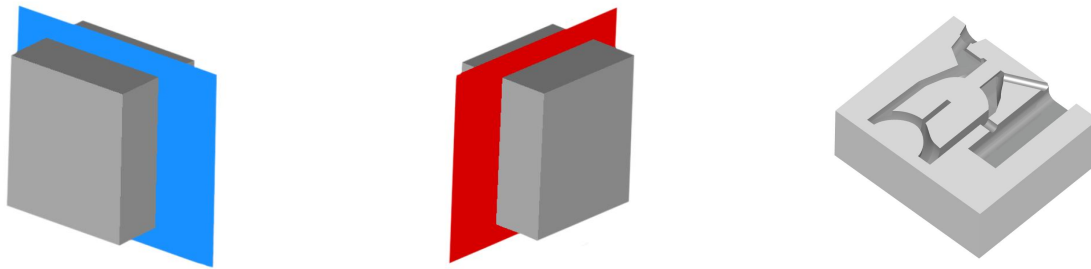
В качестве «центра управления» выбрана плата Arduino – достаточно универсальная и гибкая платформа, которая широко используется в робототехнике и электронике. Данная платформа включает в себя и память, и микропроцессор. Более того, плата имеет все необходимое, в том числе различные порты подключения.

Логическая схема идентификации сегмента в пространстве достаточно проста и имеет три связанных компонента: модули – центр управление – компьютер (рис. 6). Платформа Arduino может крепиться на первый сегмент, как и любой другой модуль, либо на пояс или корсет. «Центр управления» выполняет запись данных и управление модулями, формирует указания и инструкции (программы). Например: производит сигнал предупреждения в случае критичного отклонения осанки от установленной нормы.

Создание заготовок пресс-форм на базе 3D-моделей компонентов корсета.

Конструкция сегмента должна быть не только простой и функциональной, но и легко поддаваться воспроизведению – серийному производству. Сегмент и другие детали конструкции будут изготавливаться при помощи многоразовых форм для литья (рис. 7). Формы для литья не только легко воспроизводимы и заменяемы, но и позволяют экономить материал на создание изделий. С технической точки зрения, форма должна соответствовать заданным требованиям, а именно:

- форма должна быть достаточно прочной и соответствовать технике безопасности;
- полученная деталь должна легко изыматься из формы, не разрушая ее;
- отверстия впуска жидкого металла должны располагаться в наивысшей точке;
- обязательное наличие системы вывода внутренних газов.



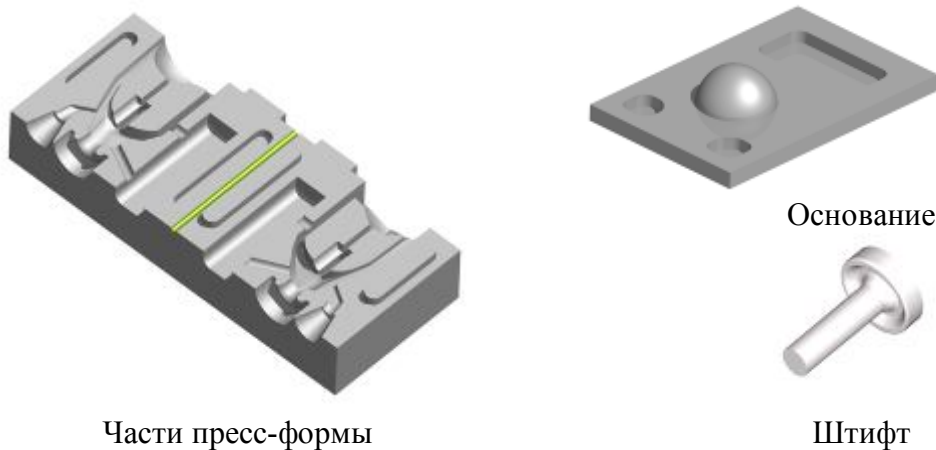
Лицевая часть плоскости

Обратная часть плоскости

Полученная пресс-форма

Рисунок 7 – Технология построения пресс-формы

Полученная видоизмененная заготовка будет разделена на 3 части: основание, стенки и штифт. Места разреза рассчитываются исходя их формы детали таким образом, чтобы деталь могла быть извлечена из формы без повреждений детали или самой формы. В данном случае сегмент является достаточно сложной деталью и форма для ее изготовления будет разделена на 4 части (рис. 8).



Части пресс-формы

Основание

Штифт

Рисунок 8 – Результат моделирования пресс-формы

Создание пресс-формы предполагается в программе Delcam PowerShape, как и сам сегмент. В свою очередь программа из того же семейства под названием Delcam FeatureCAM осуществит подбор материала и создаст программные указания для компьютеризированного станка с ЧПУ, который в свою очередь создаст из заготовок все части форм для литья. Более простые в строении детали будут созданы прямым путем на токарном станке, без использования литья. Формы изделий предполагают, что детали будут созданы при помощи фрезерования.

Для удобства и ускорения начальных приготовлений, «Мастер установки» собирает необходимые данные-условия, например:

- положение детали;
- определение обрабатываемой части (установка направление вектора Z);
- размер и форма заготовки;
- многоосевое позиционирование и ось вращения детали.

Дополнительно указывается (и устанавливается по умолчанию для последующих проектов) материал заготовки. Программа FeatureCAM предлагает на выбор большое число разнообразных материалов, среди которых пластик, различные металлы и сплавы (рис. 9). В списке присутствует даже обедненный уран, что указывает на то, что программа достаточно гибкая и может быть использована в космической отрасли, медицине и атомной энергетике. Помимо списка, можно указать параметры материала вручную. Выбор материала необходим для определения параметров обработки, скорости



подачі и скорости вращения инструмента, выбор специфических высокопрочных инструментов.

Для создания пресс-формы будет использован алюминий. В качестве металла для литья будет использован силумин, который менее тугоплавкий.

Деталь достаточно сложная и требует обработки с трех сторон. В программе указывается 4-осевое позиционирование. Положение инструментов для каждой из сторон указывается в программе посредством систем координат и установов. В данном проекте обработки указаны 4 установка: три на каждую из сторон и один на ребро заготовки между первым и вторым установками для облегчения доступа инструмента к труднодоступным областям. На практике, станок будет переворачивать деталь в нужное положение по установленной оси.

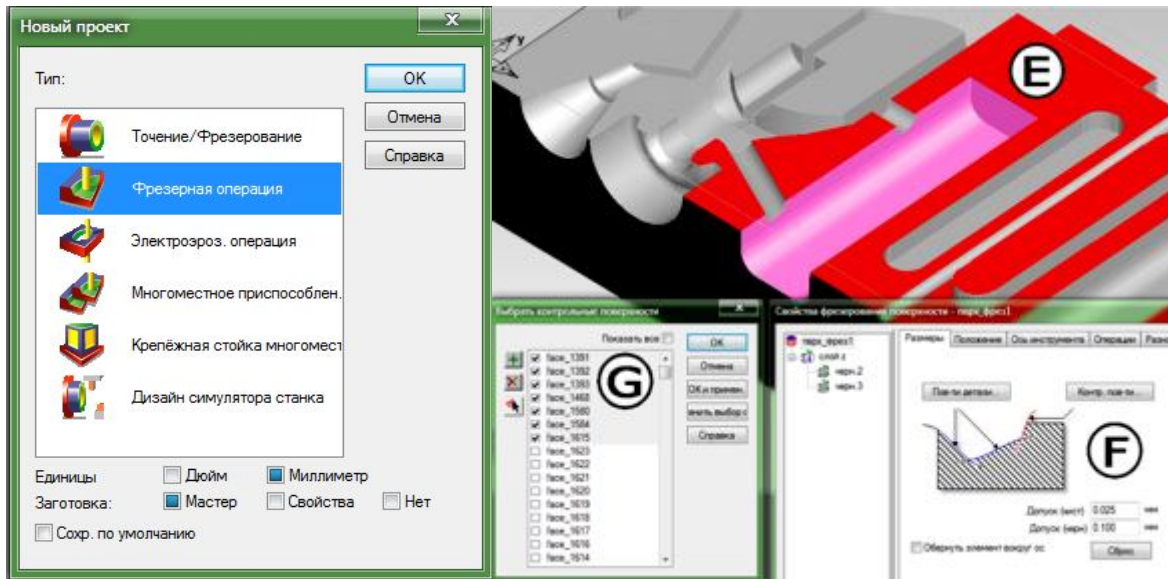


Рисунок 9 – Результат 3D имитации обработки пресс-формы

Обработанные области вырезаны согласно запланированной геометрии. Это выполнено с целью ускорения и уменьшения количества используемых инструментов. Вырезанная область выступает в роли пути вывода воздуха и излишков жидкого металла. Данная сложность никак не должна повлиять на качество изготовленного сегмента их этих форм.

После указания всех областей обработки формы и коррекции их параметров, полученная деталь достаточно точно повторяет ту, что была спроектирована в программе Delcam PowerShape (рис. 10).

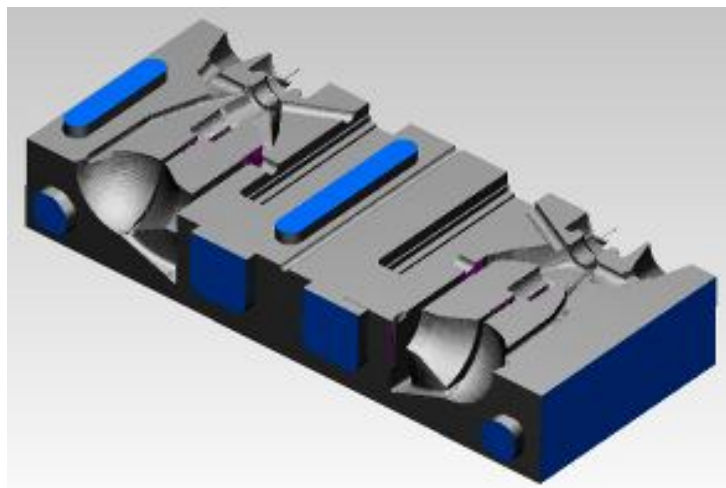


Рисунок 10 – Подготовленная пресс-форма



После обработки пресс-формы ее необходимо разъединить на две части. Граница обозначена небольшой канавкой. Создание основания намного легче: процесс не требует многоосевого позиционирования, количество применяемых инструментов сведен к минимуму, скорость обработки заготовки достаточно высокая.



Рисунок 11 – Стенка пресс-формы и станок с ЧПУ

Согласно расчетам, создание всех форм и компонентов сегмента может занять около 3 часов на станке с ЧПУ (рис. 11). Но данные временные затраты допустимы, так как созданные детали (пресс-формы) будут использованы для многократного воспроизведения сегментов конструкции ортопедического корсета.

Выводы и перспективы использования. В процессе проектирования были выполнены все основные этапы 3D-моделирования в системах Delcam pls. Конструкция имеет характер экспериментального прототипа, но со временем, может пройти определенные этапы технического усовершенствования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Morningstar, M.W., Woggon, D., Lawrence, G. (2004). Scoliosis treatment using a combination of manipulative and rehabilitative therapy: a retrospective case series. – BMC Musculoskelet Disord.
2. A. Marc, C. Douglas, (2003). Adolescent idiopathic scoliosis: natural history and long term treatment effects. – Department of Orthopedic Surgery, University of Kansas Medical Center, Kansas City, KS, USA.
3. P. S Nosov, A. D. Yalansky, V. O. Iakovenko. 3D modelling of rehabilitation corset with use of PowerSHAPE Delcam // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві : Збірник наукових праць. – Вип. 1(2) – Одеса : Наука і техніка. – С. 222-231.
4. П. С. Носов, А. Д. Яланский, В. А. Яковенко. Проектування 3D-моделі реабілітаційного корсету як засобу комп'ютерної діагностики постави // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків : Технол. центр, 2013. – № 3/2 (63). – С. 30-33.

Носов П.С. 3D-МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ОРТОПЕДИЧНОГО КОРСЕТУ У DELCAM POWERSHAPE-FEATURECAM

У статті запропонована конструкція ортопедичного корсета, підходи в 3D-моделюванні та виготовленні його структурних елементів за допомогою сімейства програмних продуктів Delcam pls з подальшим виготовленням на верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Ключові слова: ортопедичний корсет, 3D-моделювання, сколіоз, системи Delcam pls.

Nosov P.S. 3D STRUCTURAL MODELING OF ORTHOPEDIC CORSETS DELCAM POWERSHAPE-FEATURECAM

The paper proposed the construction of an orthopedic corset, approaches to 3D modeling and manufacturing of its structural elements with the help of a family of software products Delcam pls further production of the machine with numerical control (MNC)

Keywords: orthopedic corset, 3D modeling, scoliosis, the system Delcam pls.



УДК 004.5

АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ ПРИНЯТИЯ РЕЛЕВАНТНЫХ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Передерий В.И.

Николаевский национальный университет им. В. А. Сухомлинского,

Еременко А.П.

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова

В работе рассмотрены адаптивные модели процессов формирования альтернатив при принятии решений с учетом характеристик лица, принимающего решения. Предложена нечеткая модель, описывающая влияние внешних и психофизиологических факторов на способность человека принимать релевантные решения. Описан алгоритм определения функций принадлежности на основе экспертных оценок.

Ключевые слова: принятие решений, нечеткая реляционная модель, функция принадлежности, экспертные оценки.

Введение. При разработке систем поддержки принятия решений (СППР) для сложных динамических автоматизированных систем в таких отраслях, как электроэнергетика, управление движением транспорта и др., значительной проблемой является учет человеческого фактора, то есть оценка способности человека выполнять свои функции по принятию решений в составе автоматизированной системы.

Актуальность исследования данной проблемы обусловлена тем, что доля аварий, происходящих в указанных автоматизированных системах по-прежнему остается высокой, в частности, по данным [1] она может достигать 60 %.

При формировании альтернатив в СППР необходимо учитывать характеристики лица, принимающего решения (ЛПР), такие как длительность реакции, объем оперативной памяти (количество одновременно рассматриваемых ЛПР вариантов) и др., поскольку они в конечном итоге определяют способность ЛПР к принятию релевантных (своевременных и адекватных) решений. В свою очередь, эти характеристики определяются функциональным состоянием ЛПР и действием внешних факторов. К числу таких факторов относятся факторы рабочей среды: шум, вибрации, освещенность, температура и т.д.; факторы операционной деятельности: неравномерность поступления информации, ее неточность и противоречивость, изменения в состоянии объекта управления и т.д. Внутренние факторы, обусловленные функциональным состоянием, например, утомленность, напряженность, мотивация и т.д. зависят как от начального состояния ЛПР перед рабочей сменой, так и от его индивидуальных особенностей и влияния внешних факторов.

Таким образом, ЛПР является сложной нелинейной нестационарной динамической системой с внутренними обратными связями.

Учет указанных факторов в СППР позволяет прогнозировать деятельность ЛПР, и в целом повысить надежность функционирования всей автоматизированной системы.

Поскольку состояние ЛПР и внешние факторы непрерывно изменяются, модель влияния данных факторов на релевантность решений ЛПР должна быть адаптивной, что позволяет обеспечить ее адекватность в изменившихся условиях.

Цель работы заключается в создании моделей, описывающих влияние внешних и внутренних факторов с учетом их неопределенности и нечислового характера на деятельность ЛПР, способных к адаптации при изменении условий работы ЛПР и его состояния.

Связь с существующими научными направлениями. Данная работа направлена на создание эффективных систем поддержки принятия решений с учетом человеческого фактора. Вопросы теории и методов принятия оптимальных решений рассматривались в



роботах Д. А. Поспелова, Т. Саати, Н. Нильсона, С. А. Орловского, О.И. Ларичева, В.Н. Томашевского, П. И. Бидюка и др. Вопросам учета свойств человека как звена автоматизированной системы посвящены работы Б.Ф. Ломова, В.В. Павлова, Г. Салвенди, Т.Б. Шеридана и др.

Анализ состояния проблемы. В настоящее время учет человеческого фактора в динамических автоматизированных системах осуществляется, в основном, путем рационального проектирования рабочего места, человеко-машинного интерфейса автоматизированной системы и условий работы ЛПР. Разработаны стандарты, например, такие как ГОСТ 12.0.001, 12.0.003 и др., регламентирующие требования к рабочему месту и факторам окружающей среды.

Исследованы вопросы повышения надежности деятельности человека в составе автоматизированных систем [1-3].

Разработаны системы контроля и идентификации функционального состояния ЛПР по отдельным регистрируемым психофизиологическим характеристикам, определяемым методами косвенных измерений в процессе работы ЛПР [4-6].

Тем не менее, нерешенной остается задача построения модели формирования альтернатив, позволяющей отобразить связи между рассмотренными выше факторами, функциональным состоянием и релевантностью решений ЛПР. Данная задача является ключевой при построении устойчивых автоматизированных динамических систем, и непосредственно связана с актуальными в настоящее время задачами создания эффективных интегрированных автоматизированных систем.

Постановка задачи. Разрабатываемая модель должна иметь следующие свойства:

- отображение влияния различных факторов на процесс формирования альтернатив с учетом релевантности решений ЛПР;
- учет нелинейных взаимосвязей между факторами;
- возможность адаптации при изменении состояния ЛПР или внешних условий;
- представление факторов имеющих нечисловую природу;
- возможность построения модели на основе имеющихся экспериментальных данных и с учетом наличия знаний экспертов в предметной области.

Результаты исследований. Схема связи факторов, влияющих на способность ЛПР принимать релевантные решения, представлена на рис. 1.

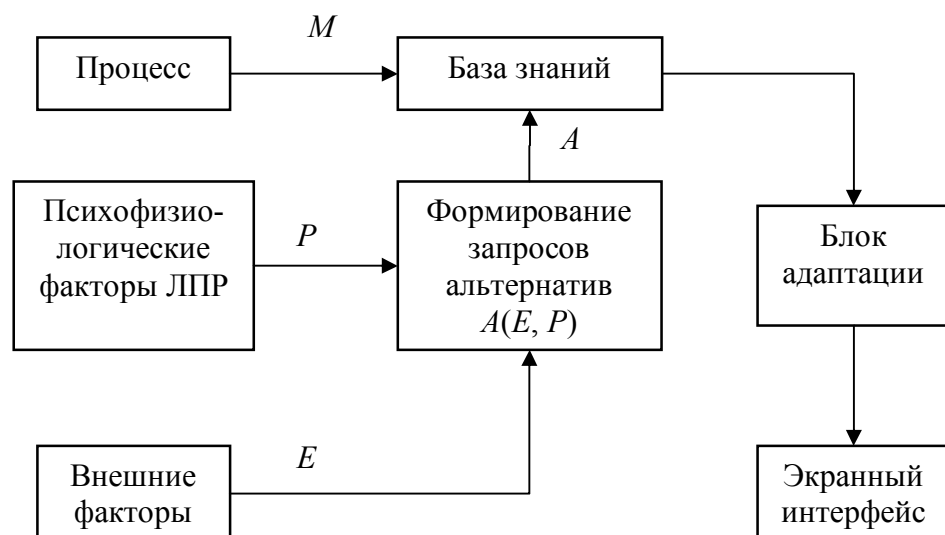


Рисунок 1 – Схема связи факторов

Для представления значений внешних и психофизиологических факторов предлагается использовать нечеткие лингвистические переменные X_1, X_2, \dots, X_n , представляющие собой нечеткие множества $X_i = \{x_1, \mu_1; x_2, \mu_2; \dots; x_c, \mu_c\}$. [7] Применение методов теории нечетких множеств обусловлено тем, что многие из рассмотренных выше



факторов имеют нечисловую природу (например, степень утомленности и мотивации ЛПР), и не могут быть измерены с заданной точностью, т. е. в их значениях присутствует неопределенность.

В качестве функций принадлежности μ_{ij} целесообразно использовать функции вида:

$$\mu_{ij}(x_i) = \exp\left(-\frac{(x_i - \theta_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}\right), \quad (1)$$

где θ_{ij}, σ_{ij} – параметры функции принадлежности. Связь между факторами X_1, X_2, \dots, X_n и выходной величиной y , отображающей способность ЛПР принимать релевантные решения, формализуется с помощью нечеткой реляционной модели иерархической структуры (рис. 2).

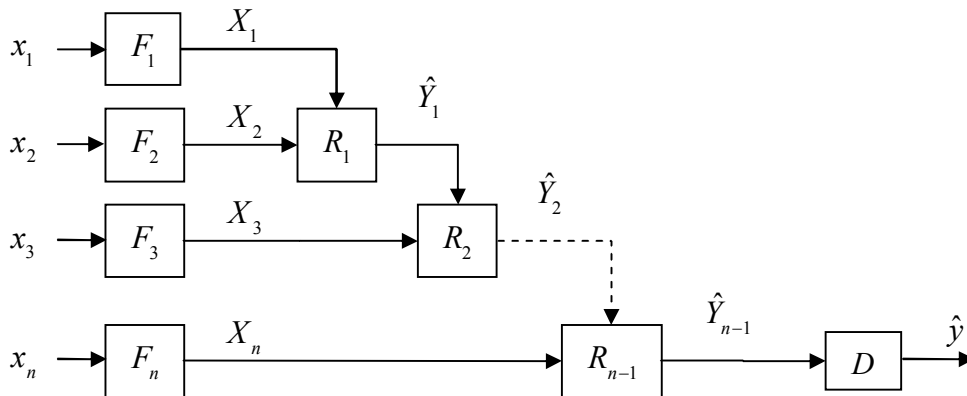


Рисунок 2 – Нечеткая иерархическая реляционная модель

Такая модель включает в себя операции фаззификации F_1, F_2, \dots, F_n значений факторов x_1, x_2, \dots, x_n , sum-prod-композиции нечетких отношений R_1, R_2, \dots, R_{n-1} [8] и дефаззификации D методом взвешенного среднего:

$$\begin{cases} \hat{Y}_1 = (\Psi_1^T R_1)^T; \Psi_1^T = (X_2 \otimes X_1)^T; \\ \hat{Y}_2 = (\Psi_2^T R_2)^T; \Psi_2^T = (X_3 \otimes \hat{Y}_1)^T; \\ \dots; \\ \hat{Y}_{n-2} = (\Psi_{n-2}^T R_{n-2})^T; \Psi_{n-2}^T = (X_{n-1} \otimes \hat{Y}_{n-3})^T; \\ \hat{Y}_{n-1} = (\Psi_{n-1}^T R_{n-1})^T; \Psi_{n-1}^T = (X_n \otimes \hat{Y}_{n-2})^T, \end{cases} \quad (2)$$

где \otimes – обозначает произведение Кронекера. Выход модели определяется по формуле [8]:

$$\hat{y} = \frac{\sum_{h=1}^c \hat{Y}_{(n-1)h} \theta_h}{\sum_{h=1}^c \hat{Y}_{(n-1)h}},$$

где h – номер термина выходной нечеткой лингвистической переменной \hat{Y}_{n-1} , c – количество термов, θ_h – центр функции принадлежности термина с номером h , $\hat{Y}_{(n-1)h}$ – значение функции принадлежности термина с номером h . Данный способ дефаззификации имеет меньшую вычислительную сложность по сравнению с методом центра тяжести



Определение матриц R_1, R_2, \dots, R_{n-1} в выражении (2) производится по результатам экспериментов. При этом минимизируется суммарное евклидово расстояние между фаззифицированными результатами и выходом модели Δ [9]:

$$\Delta = \sum_{j=1}^N \sqrt{\frac{1}{c} \sum_{i=1}^c (\hat{Y}_{(n-1)ji} - \hat{Y}_{(n-1)ji}^R)^2} \rightarrow MIN,$$

где N – количество элементов выборки экспериментальных данных, j – номер элемента выборки, $\hat{Y}_{(n-1)ji}^R$ – значение функции принадлежности, получаемое путем фаззификации результатов эксперимента.

Для решения данной задачи целесообразно применение генетических алгоритмов [10].

В процессе решения предполагается, что параметры функций принадлежности термов нечетких лингвистических переменных заданы и оптимизации подлежат только матрицы R_1, R_2, \dots, R_{n-1} .

Алгоритм нахождения матриц R_1, R_2, \dots, R_{n-1} состоит из следующих шагов:

1. Инициализация элементов матриц R_1, R_2, \dots, R_{n-1} случайными числами в интервале $[0,1]$.
2. Кодирование матриц путем преобразования вещественных значений их элементов в бинарную строку с фиксированной разрядной сеткой [11].
3. Расчет критерия оптимизации (функции активации).
4. Пропорциональная селекция, которая позволяет сопоставить вариантам значений матриц R_1, R_2, \dots, R_{n-1} вероятность их прохождения в следующий этап оптимизации, она обратно пропорциональна функции активации.
5. Многоточечный кроссовер, позволяющий получить новые варианты решения и заключающийся в множественной перестановке фрагментов бинарных строк в парах вариантов решения.
6. Повтор шагов 2–5 для нахождения вариантов значений матриц, обеспечивающих минимум функции активации.

Для определения степени принадлежности термов нечетких лингвистических переменных X_1, X_2, \dots, X_n целесообразно использовать метод экспертных оценок.

Пусть A – нечеткое подмножество множества $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, причем степень принадлежности элементов X множеству A известна: $A(x_i) = a_i$. Множество a -уровня определяется как $A_a = \{x / A(x) \geq a, x \in X\}$, то есть A_a – четкое подмножество множества X , содержащее все элементы, степень принадлежности которых не меньше a . [12] Пусть случайным образом выбирается $a \in [0,1]$, потом элемент x_i соответствующего множества a -уровня:

$$P(x_i / A_j) = \begin{cases} 0, & x_i \in A_j, \\ 1/n_j, & x_i \in A_j, \end{cases}$$

где n_j – число элементов в A_j . Тогда полная вероятность выбора элемента x_i

$$P(x_i) = \sum_{j=1}^n P(x_i / A_j) P(A_j),$$

где $P(A_j) = a_j - a_{j-1}$.

Отсюда следует, что



$$\begin{aligned}
 P(x_1) &= \frac{1}{n} a_1, \\
 P(x_2) &= P(x_1) + \frac{1}{n-1} (a_2 - a_1), \\
 &\dots\dots\dots \\
 P(x_{n-1}) &= P(x_{n-2}) + \frac{1}{2} (a_{n-1} - a_{n-2}), \\
 P(x_n) &= P(x_{n-1}) + (a_n - a_{n-1}).
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

При этом предполагается, что если $i \geq j$, то $a_i \geq a_j$, тогда $P_i \geq P_j$. Из выражения (3) можно определить степень принадлежности элементов множеству A :

$$\begin{aligned}
 a_1 &= n \cdot P(x_1), \\
 a_2 &= (n-1) \cdot P(x_2) + P(x_1), \\
 &\dots\dots\dots \\
 a_k &= (n-k+1) \cdot P(x_k) + \sum_{i=1}^{k-1} P(x_i), \\
 &\dots\dots\dots \\
 a_{n-1} &= 2P(x_{n-1}) + \sum_{i=1}^{n-1} P(x_i), \\
 a_n &= \sum_{i=1}^n P(x_i).
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Таким образом, если получены оценки вероятности в правых частях выражения (4), можно вычислить степень принадлежности элементов множеству A , используя следующий алгоритм систематической выборки уровней множеств.

1. С каждым x_i свяжем величину T_i (начальное значение равно 0) и число появлений x_i в следующей схеме.
2. Разобьем единичный интервал на M частей, где M – объем выборки. Обозначим это множество S_i , например для $M=20$; $S = \{1, 0,95, 0,9, \dots, 0,05\}$.
3. Выберем случайным образом элемент a из S (без возврата).
4. Эксперт, определяющий нечеткое множество, должен перечислить все элементы, соответствующие выбранному уровню a .
5. Если k - количество элементов, включенных в подмножество на шаге 4, то с каждым появлением этого элемента на данном уровне добавить $1/k$ к T_i .
6. Повторять шаги 3-5 до тех пор, пока не будут использованы все a в S .
7. Найти $P(x_i)$; $P_i = T_i / M$.
8. Полученные оценки вероятностей упорядочить по возрастанию и, подставив в (4), определить степень принадлежности элементов X множеству A .

Выводы:

1. Процедуры определения множеств уровня и вычисления степени принадлежности легко алгоритмизируются в интерактивном режиме. Процедура систематической выборки для многих экспертов более удобна, чем способ прямого определения степени принадлежности в условиях неопределенности.
2. Приведенная методика может быть использована для оценки значимости отдельных факторов, влияющих на процесс принятия решений в СППР.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благинин А. А. Психофизиологическое обеспечение надежности профессиональной деятельности операторов сложных эргатических систем : дисс. д-ра псих. наук: 19.00.03 / Благинин Андрей Александрович. – С-Пб., 2005. – 350 с.
2. Алексеев А. К. Разработка методов анализа и повышения надежности оперативного персонала энергетических объектов : дисс. канд. техн. наук : 03.02.08 / Алексеев Алексей Константинович. – М., 2010. – 166 с.
3. Левашова Т. А. Психологические средства прогноза надежности деятельности операторов судовых атомных энергетических установок : дисс. канд. псих. наук : 05.26.02 / Левашова Татьяна Алексеевна. – С-Пб., 2001. – 231 с.
4. Абашин В. Г. Автоматизация процесса определения психофизиологического состояния оператора автоматизированного рабочего места в АСУТП : дисс. канд. техн. наук : 05.13.06 / Абашин Валерий Геннадьевич. – Орел, 2007. – 220 с.
5. Фролов М. В. Контроль функционального состояния человека-оператора / М. В. Фролов. – М. : Наука, 1987. – 197 с.
6. Еськин С. М. Биометрическая система контроля функционального состояния человека (оператора) : дисс. канд. техн. наук : 05.12.04 / Еськин Сергей Михайлович. – М., 2008. – 200 с.
7. Передерий В. И. Математические модели и алгоритмы определения релевантности принимаемых решений с учетом психофункциональных характеристик пользователей при управлении автоматизированными динамическими системами / В. И. Передерий, А. П. Еременко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2007. – № 2 (20). – С. 34-40.
8. Campello R. J. G. B., Amaral W. C. Hierarchical Fuzzy Relational Models: Linguistic Interpretation and Universal Approximation // IEEE Transactions on Fuzzy sets and Systems, 2006. – Vol. 14. – P. 446-453.
9. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М. : Радио и связь, 1982. – 432 с.
10. Передерий В. И. Математические модели и алгоритмы принятия релевантных решений пользователями автоматизированных систем с учетом личностных и внешних факторов на базе генетических алгоритмов / В. И. Передерий, А. П. Еременко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2008. – № 2 (22). – С. 28-37.
11. Shimojima K., Fukuda T., Hasegawa Y. Self-tuning fuzzy modeling with adaptive membership function, rules, and hierarchical structure based on genetic algorithm // Fuzzy Sets and Systems – 1995. – Vol. 71. – P. 295-309.
12. Борисов В. В. Нечеткие модели и сети / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федулов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.

Передерій В.І., Єременко А.П. АДАПТИВНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВ ПРИЙНЯТТЯ РЕЛЕВАНТНИХ РІШЕНЬ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У статті розглянуто адаптивні моделі процесів формування альтернатив при прийнятті рішень з урахуванням характеристик особи, що приймає рішення. Запропоновано нечітку модель, що описує вплив зовнішніх і психофізіологічних факторів на здатність особи приймати релевантні рішення. Описано алгоритм визначення функцій належності на основі експертних оцінок.

Ключові слова: прийняття рішень, нечітка реляційна модель, функція належності, експертні оцінки

Perederiy V.I., Yeremenko A.P. ADAPTIVE MODEL OF ALTERNATIVE DEFINITION MAKING RELEVANT DECISIONS IN DECISION SUPPORT SYSTEMS

In this article adoptive models of alternative formation processes in decision making taking into account personal characteristics of decision maker are considered. Fuzzy model of environmental and human factor influence on person relevant decision-making ability is suggested. The algorithm of membership function determination based on expert assessment is described.

Keywords: decision making, fuzzy relational model, membership function, expert assessment.



ДИНАМИКА ТЯГОВОЙ ПОДСИСТЕМЫ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА (ПОЛЕВАЯ ПАРАДИГМА ИССЛЕДОВАНИЯ)

Поляков В.А., Хачапуридзе Н.М.

Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, г. Днепропетровск

Показаны преимущества линейного синхронного двигателя со сверхпроводящей обмоткой возбуждения для целей тяги магнитолевитирующего поезда. Построение модели процесса реализации тягового усилия такого двигателя определено в качестве цели статьи. Избран полевой тип парадигмы исследования. Показаны его преимущества для достижения избранной цели. Искомая модель построена методами теории электромагнитного поля. Подведены итоги исследования. Выявлены и констатированы его логически необходимые продолжения.

Ключевые слова: моделирование, магнитолевитирующий поезд, линейный синхронный двигатель, полевая парадигма исследования, тяговое усилие.

Постановка проблемы, анализ публикаций по теме исследования; цель статьи.

Магнитолевитирующий поезд (МЛП) по сути лежащих в основе его функционирования энергетических процессов является электромеханическим преобразователем. Отбирая электрическую энергию из фидерной линии, он преобразует её в энергию движения своей механической подсистемы (МП). Одним из ключевых, базовых звеньев этого преобразователя является его тяговая подсистема (ТП), реализуемая в виде линейного двигателя (ЛД). Условия его использования для целей тяги МЛП и, прежде всего, требования обеспечения безопасности движения поезда, настоятельно требуют увеличения его клиренса – зазора между блоками подвижных и неподвижных частей. В тоже время [1-3], асинхронные версии ЛД, обладая рядом преимуществ (таких как простота конструкции, лёгкий пуск, остановка и плавное регулирование скорости) даже при клиренсах 2-4 см, обладают весьма невысокими эксплуатационными характеристиками: коэффициентом мощности 0,4-0,5 и коэффициентом полезного действия 0,5-0,6. Повышение же клиренса ведёт к существенной дальнейшей деградации упомянутых и иных важнейших показателей качества функционирования ЛАД. В свою очередь, снижение этих показателей влечёт повышенное энергопотребление двигателя, что плохо как само по себе, так и по причине обострения при этом проблемы токоподвода.

Отмеченных недостатков лишены синхронные версии ЛД (ЛСД), особенно, если они оснащены сверхпроводящими обмотками возбуждения (СПОВ) [4-7]. Поэтому вновь создаваемые МЛП подлежат оснащению ЛСД со СПОВ. В таких двигателях электромеханическое преобразование энергии осуществляется в процессе взаимодействия неподвижных относительно друг друга электромагнитных полей, создаваемых индукторной СПОВ, контуры которой обтекаются постоянными токами, и якорной обмоткой, секции которой питаются синусоидальным трёхфазным напряжением. Достоинствами ЛСД являются: допустимость значительных, повышающих безопасность движения, клиренсов – уровней (0,2-0,3) м; их относительно высокие технико-экономические показатели – КПД $\approx 0,6-0,8$ и $\cos \varphi \approx 0,7-0,8$; упрощённая система их энергоснабжения. Таким образом, моделированию подлежит динамика тяговой подсистемы МЛП, оснащённого именно ЛСД со СПОВ.

Результаты проводимого исследования в дальнейшем предполагается использовать, в первую очередь, при создании глобальных моделей управляемого движения МП МЛП. Поэтому анонсированная модель динамики его ТП и, прежде всего, – ЛД должна быть преимущественно ориентирована на описание их взаимодействия с этой МП. Итогом же настоящей работы должно стать получение достаточно корректного описания центрального элемента упомянутого электромеханического преобразования, реализация которого ведёт к возникновению основного управляющего воздействия на МП МЛП – тяговой силы его ЛД. Это описание должно учитывать актуальную специфику



моделируемых физических процессов, определяемую, в том числе, особенностями системы, в которой они протекают. Основные же из таких особенностей состоят в том, что [2, 4, 5, 9, 10]: в ЛСД МЛП отсутствуют ферромагнитопроводы; эти двигатели, как правило, имеют СПОВ, состояние которых зависит от их температурного, электромагнитного и механического состояния; в них значительны краевые эффекты, возникающие из-за разомкнутости системы якорных обмоток и конечности их поперечных размеров. Первая из этих особенностей требует учета критических параметров сверхпроводящих материалов. Вторая и третья – приводят к существенной неоднородности магнитного поля в рабочем зазоре двигателя и необходимости учета, как минимум, двухмерности этого поля. Авторы опубликованных в открытой печати работ перечисленные факторы в должной степени не учитывали. Рабочие же материалы и отчеты специализированных фирм, возможно, содержащие уточненные методики и разработки по теории и проектированию ЛСД МЛП, использованные при их проектировании [11-15], в открытой печати не опубликованы.

Целью работы является получение альтернативной модели возникновения тягового усилия ЛСД в процессе реализации им электромеханического энергетического преобразования.

Основная часть. Расчётная схема статора ЛСД МЛП представима [16] трёхфазной системой якорных прямоугольных контуров, уложенных вдоль пути следования поезда. При этом контуры каждой фазы, активные части которых параллельны нормали к оси пути в каждой точке, расположены так, чтобы обеспечивалось требуемое периодическое распределение протекающего по этим контурам тока вдоль последней оси. Соответствующие же фазовые обмотки в целом сдвинуты друг относительно друга вдоль той же оси на треть периода, то есть – на $\frac{2 \cdot \tau}{3}$, где τ – полюсное деление двигателя и

питаются от трёхфазной сети. В результате фазные токи якоря оказываются сдвинутыми друг относительно друга во времени и пространстве на треть периода и создают бегущее вдоль оси пути электромагнитное поле.

В рассматриваемом случае подвижная обмотка возбуждения является сверхпроводящей. Её расчётная схема может быть принята в виде ряда однотипных прямоугольных контуров. Они расположены в плоскости, параллельной соприкасающийся с поверхностью пути на расстоянии h от неё. Активные стороны этих контуров снова параллельны нормали к оси пути. Расстояния между центрами таких соседних контуров равно τ . Контуры возбуждения обтекаются постоянными токами одинакового значения и чередующегося направления, создавая неподвижное относительно этих контуров электромагнитное поле.

Согласно третьему закону электромеханики [17], поля, реализующие электромеханическое преобразование энергии, должны быть взаимно неподвижны. Поэтому, в ЛСД возникает тяговое усилие, заставляющее его контуры возбуждения двигаться относительно якорных контуров в направлении касательной к оси пути с синхронной скоростью.

Методика построения искомой модели энергетического преобразования, реализуемого ЛСД, может базироваться на энергетической, либо полевой парадигме исследования [18]. До настоящего времени подавляющее большинство работ, посвящённых указанной проблематике, основывается именно на первой из упомянутых, энергетической парадигме [5, 8, 16]. Имея в качестве теоретической базы уравнения второго закона Кирхгофа, эта парадигма достаточно адекватно и полно отражает моделируемые процессы. Однако, такой путь построения модели возможен лишь с широким использованием величин коэффициентов само- и взаимоиндукции якорных и индукторных контуров ЛСД как нестационарных магнитосвязанных электрических цепей. Соотношения для фактического нахождения текущих значений указанных коэффициентов в качестве атомарной первоосновы безальтернативно имеют [19] выражения



коэффициентов взаимодукии между двумя прямолинейными параллельными отрезками проводников (на которые, предварительно, должны быть разбиты рассматриваемые взаимодействующие контуры). В итоге, найденные таким путём значения этих коэффициентов, вследствие ряда причин (не устранимых при использовании очерченного способа их получения) весьма не точны, а ресурсные затраты на такое получение необоснованно велики.

Возникающая, таким образом, коллизия может быть успешно преодолена, базируясь на полевой парадигме исследования ЛСД [20]. Приступим, далее, к абрисному очерчиванию пути построения модели его энергетического преобразования, инициируемого такой парадигмой. Принятие указанной парадигмы реализуется определением результирующего магнитного поля якоря двигателя, в трёхмерной постановке, из решения краевой задачи для скалярного, или векторного потенциала этого поля.

С целью максимального исходного упрощения искомой модели, введём следующие предположения: проводники индуктора будем первоначально считать бесконечно тонкими нитями, по которым протекают одинаковые по величине, чередующиеся (от секции к секции) по направлению постоянные во времени токи; проводники якоря предполагаем бесконечно длинными в поперечном направлении, а, поэтому, его поле – плоскопараллельным; протекающие по якорным проводникам токи могут быть имитированы поверхностными токовыми слоями, изменяющимися во времени синусоидально с одинаковыми амплитудами, со сдвигом между фазами на треть периода и лежащими в плоскостях, соприкасающихся с осью пути; линейную плотность $\lambda_y = di/dx$ таких токов предполагаем кусочно-непрерывной периодической функцией координаты пути (пройденного вдоль его оси) с периодом $2 \cdot \tau$ и пространственным сдвигом между их фазами на две трети τ ; влияние высших гармоник пространственного распределения поля якоря на значение тягового усилия двигателя не учитываем.

Принимая во внимание принятые предположения, опишем, прежде всего, электромагнитное поле якоря двигателя. В соответствии с допущением, будем рассматривать протекающий в фазах якорной цепи ток, как лежащий на поверхности пути и направленный вдоль главной нормали Oy к его оси в каждой точке. Линейная плотность этого тока имеет только одну составляющую λ_y и для каждой из фаз является периодической функцией координаты пути x , пройденного вдоль его оси. Указанная плотность может быть разложена в ряд Фурье с периодом $2 \cdot \tau$. После выполнения такого разложения, в силу линейности системы, поле каждой из гармоник любой фазы якоря может определяться сепаратно, с использованием метода суперпозиции.

Фазы якоря питаются гармонически изменяющимися напряжениями. Поэтому первая гармоника тока первой из таких фаз изменяется согласно закону:

$$i_{1A} = I_{1m} \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (1)$$

где I_{1m} – амплитудное значение такого тока; ω, t – угловая частота питающего напряжения и текущее время.

Тогда для значения линейной плотности такого тока справедливо выражение:

$$\lambda_{1A} = \Lambda_1 \cdot \sin(\pi \cdot \tau^{-1} \cdot x); \quad \Lambda_1 = \Lambda_{1m} \cdot \cos(\omega \cdot t), \quad (2)$$

где Λ_{1m} – амплитудное значение этой линейной плотности.

Плоскопараллельное электромагнитное поле, создаваемое этим распределением тока, зависит только от координат x и z , отсчитываемых, соответственно, вдоль касательной и бинормали к оси пути в каждой его точке. При этом, в силу пространственной периодичности такого поля, достаточным является рассмотрение



области, расположенной между плоскостями $x = \pm 0,5 \cdot \tau$. Скалярный магнитный потенциал ψ этого поля удовлетворяет двумерному уравнению Лапласа [18]:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = 0 \quad (3)$$

и должен являться синусоидальной функцией x с периодом $2 \cdot \tau$. Помимо того, магнитные линии этого поля должны быть нормальны к упомянутым плоскостям $x = \pm 0,5 \cdot \tau$. А, при соблюдении условия $z = 0$, производная $\frac{d\psi}{dx}$ должна претерпевать разрыв, равный λ . Поэтому, для первой гармоники поля, решение уравнения (3) можно искать в виде:

$$\psi_1 = \Psi_1(z) \cdot \cos(\pi \cdot \tau^{-1} \cdot x) \quad (4)$$

В случае $z = 0$, должно соблюдаться равенство:

$$-\left(\frac{d\psi_1}{dx}\right)_+ + \left(\frac{d\psi_1}{dx}\right)_- = \lambda_{1A} \quad (5)$$

Путём подстановки (4) в (3), может быть получено уравнение:

$$\frac{d^2 \psi_1}{dz^2} - \alpha^2 \cdot \psi_1 = 0 \quad (6)$$

$$\alpha = \pi \cdot \tau^{-1}, \quad (7)$$

решение которого, при соблюдении условия (5), имеет вид

$$\Psi_1 = \pm \frac{\Lambda_1}{2 \cdot \alpha} \cdot e^{\mp \alpha z} \quad (8)$$

В таком случае, для потенциала ψ_1 и составляющих напряжённости поля в области $z > 0$ могут быть получены выражения

$$\psi_1 = \frac{H_1}{\alpha} \cdot \cos(\alpha \cdot x) \quad (9)$$

$$H_{1x} = H_1 \cdot \sin(\alpha \cdot x); \quad H_{1z} = H_1 \cdot \cos(\alpha \cdot x); \quad (10)$$

$$H_1 = 0,5 \cdot \Lambda_1 \cdot e^{-\alpha z}, \quad (11)$$

где H_1 – модуль напряжённости поля.

Результаты метаанализа полученных решений свидетельствуют о том, что величины, характеризующие поле индуктора, с возрастанием координаты z убывают по экспоненциальному закону. Специальные же расчёты [20] демонстрируют рациональность наличия между статором и ротором ЛАД зазора порядка $2 \cdot \tau \cdot \pi^{-1}$. При этом $\alpha \cdot z = 2$ и $e^{-\alpha z} = 0,135$. То есть, величины, характеризующие поле на указанной высоте, составляют лишь 13,5 % их значений у поверхности статора. Это является характерной особенностью двигателей рассматриваемого типа. Решение уравнения (3) для магнитного поля, создаваемого высшими пространственными гармониками тока, отличается от приведенного заменой α на $k \cdot \alpha$, где k – номер гармоники. Из этого следует, что высшие гармоники поля убывают при увеличении значения координаты z значительно быстрее, чем первая. Поэтому их влияние – пренебрежимо мало даже на сравнительно небольших расстояниях от якоря. Например [20], при $\alpha \cdot z = 2$, амплитуда третьей



гармоніки напруженності поля менше, чем у поверхності якоря, в 400 раз, амплітуда п'ятої – в 2200 раз и так далее.

Приведенные соображения свидетельствуют о том, что при определении величин, характеризующих взаимодействие индуктора и якоря ЛАД, влиянием высших гармоник пространственного распределения тока якоря почти всегда можно пренебрегать. В то же время, поскольку высшие гармоники поля этого тока движутся относительно якоря не с синхронной, а со скоростью в k раз меньшей, то, в отличие от первой гармоники этого поля, они воспринимаются индуктором как поля переменные. Поэтому учёт таких высших гармоник поля может оказаться актуальным в случае применения сверхпроводящих материалов, чувствительных к воздействию даже относительно слабых переменных магнитных полей. Исследования, направленные на реализацию такого учёта, должны быть проведены в дальнейшем. В соответствии с отмеченным, везде ниже в пределах настоящего исследования будем пренебрегать высшими пространственными гармониками поля якоря, и рассматривать это поле как изменяющееся вдоль пути синусоидально.

Токи фаз якоря, по определению, образуют симметричную трёхфазную систему и сдвинуты друг относительно друга в пространстве на треть периода, то есть – на $\frac{2 \cdot \tau}{3}$.

Суммарная линейная плотность тока статора при этом изменяется по закону:

$$\lambda_s = 1,5 \cdot \Lambda_{1m} \cdot \sin(\alpha \cdot x - \omega \cdot t). \quad (12)$$

Из последнего выражения следует, что синусоидальное пространственное распределение тока, а поэтому и магнитное поле, создаваемое якорной обмоткой, с течением времени, без изменения формы, как отмечалось, перемещается вдоль оси пути с синхронной скоростью:

$$v_s = \omega \cdot \alpha^{-1} = 2 \cdot f \cdot \tau, \quad (13)$$

где f – частота якорных токов.

Если ротор ЛСД движется с той же скоростью, то, в системе координат, жёстко с ним связанной и совпадающей с неподвижной системой координат при $t = 0$

$$x_r = x - v_s \cdot t, \quad (14)$$

а линейная плотность тока:

$$\lambda_s = 1,5 \cdot \Lambda_{1m} \cdot \sin(\alpha \cdot x_r). \quad (15)$$

Сопоставление выражений (15) и (1) приводит к заключению об их идентичности. Разница между указанными соотношениями состоит лишь в амплитудных описываемых ими величин. Поэтому выражения для составляющих результирующей напряженности поля якоря в подвижной системе координат, в плоскости $z = h$, в которой расположена рассматриваемая якорная обмотка,

$$H_x(h) = H_m(h) \cdot \sin(\alpha \cdot x_r); \quad (16)$$

$$H_z(h) = H_m(h) \cdot \cos(\alpha \cdot x_r); \quad (17)$$

$$H_m(h) = 0,75 \cdot \Lambda_{1m} \cdot e^{-\alpha \cdot h}. \quad (18)$$

В таком случае, согласно (17), для любой μ -ой секции индуктора двигателя вертикальные составляющие результирующей напряженности поля якоря (в подвижной системе координат) для точек 1 и 2, соответствующих активным сторонам этой секции,

$$H_{z_{\mu 1}}(h) = H_m(h) \cdot \cos[\alpha \cdot (-\Delta_{\mu} - 0,5 \cdot \sigma)] = -H_m(h) \cdot \sin(\theta_{\mu} - \nu); \quad (19)$$



$$H_{z\mu 2}(h) = H_m(h) \cdot \cos[\alpha \cdot (-\Delta_\mu + 0,5 \cdot \sigma)] = H_m(h) \cdot \sin(\theta_\mu + \nu); \quad (20)$$

$$\theta_\mu = \alpha \cdot \Delta_\mu; \nu = 0,5 \cdot \alpha \cdot (\tau - \sigma), \quad (21)$$

где Δ_μ, σ – координата центра масс рассматриваемой секции индуктора в связанной с ротором системе координат, а также продольная протяжённость такой секции.

Тогда горизонтальные продольные силы воздействия магнитного поля якоря на проводники 1 и 2 рассматриваемой μ -ой секции индуктора:

$$\varphi_{x\mu 1} = -\mu_0 \cdot H_{z\mu 1} \cdot l \cdot I_r = \mu_0 \cdot H_m(h) \cdot l \cdot I_r \cdot \sin(\theta_\mu - \nu); \quad (22)$$

$$\varphi_{x\mu 2} = \mu_0 \cdot H_{z\mu 2} \cdot l \cdot I_r = \mu_0 \cdot H_m(h) \cdot l \cdot I_r \cdot \sin(\theta_\mu + \nu), \quad (23)$$

где I_r, l – ток в секции индуктора, а также длина каждой из её активных сторон; μ_0 – магнитная постоянная, определяющая плотность магнитного потока в вакууме.

Горизонтальная сила $\varphi_{x\mu}$, действующая на всю секцию:

$$\varphi_{x\mu} = \varphi_{x\mu 1} + \varphi_{x\mu 2} = 4 \cdot \mu_0 \cdot a_r \cdot I_r \cdot H_m(h) \cdot \cos(\nu) \cdot \sin(\theta_\mu), \quad (24)$$

где $a_r = 0,5 \cdot l$.

Тяговое усилие ЛСД создаётся взаимодействием полей его якоря и N секций индуктора. Поэтому выражению для определения значения этого полного тягового усилия может быть придан вид:

$$\Phi_x = \sum_{\mu=1}^N \varphi_{x\mu} = \Phi \cdot \sum_{\mu=1}^N \sin(\theta_\mu); \quad (25)$$

$$\Phi = 3 \cdot \mu_0 \cdot a_r \cdot I_r \cdot \Lambda_m \cdot e^{-\alpha \cdot h} \cdot \cos(\nu). \quad (26)$$

Величина Φ_x пропорциональна косинусу угла ν . Поэтому, для получения максимального тягового усилия ЛСД, необходимо стремиться к возможно большему, при заданном τ , значению σ .

Анализ возможных погрешностей моделирования, связанных с принятыми допущениями, свидетельствует о том, что наиболее существенными из них являются предположения о том, что ширина якоря двигателя бесконечна (и, поэтому, создаваемое им поле – плоскопараллельное), а также – пренебрежение размерами поперечного сечения обмотки индуктора.

У реального ЛСД МЛП ширина якоря, безусловно, конечна, имея тот же порядок, что ширина индуктора и его полюсное деление. Обмотка же индуктора имеет сечение, линейные размеры которого соизмеримы с иными размерами секций. Исходя из этого, уточнение модели двигателя, направленное на повышение адекватности описания его динамики, должно быть направлено, прежде всего, на отказ от двух указанных допущений.

Учёт влияния конечности ширины ротора двигателя на значения реализуемых им тяговых усилий может быть осуществлён [9] введением в выражение (26) соответствующего поправочного коэффициента $\chi_z^{(h)}$. При этом указанному выражению может быть придан вид:

$$\Phi = 3 \cdot \chi_z^{(h)} \cdot \mu_0 \cdot a_r \cdot I_r \cdot \Lambda_m \cdot e^{-\alpha \cdot h} \cdot \cos(\nu); \quad (27)$$



$$\chi_z^{(h)} = e^{\alpha \cdot h} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\kappa_n}{n \cdot \beta \cdot a_r} \cdot R_n \cdot e^{-R_n \cdot \alpha \cdot h} \cdot \sin(n \cdot \beta \cdot a_r); \quad (28)$$

$$R_n = (1 + n^2 \cdot \beta^2 \cdot \alpha^{-2})^{0.5} \forall n \in [1, \infty], \quad (29)$$

где $\kappa_n \forall n \in [1, \infty]$ – коэффициенты разложения в ряд Фурье функции:

$$\tilde{\Lambda}(y) = \Lambda \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \kappa_n \cdot \cos(n \cdot \beta \cdot y); \quad (30)$$

$$\beta = \pi \cdot (2 \cdot a_s + b)^{-1}. \quad (31)$$

где a_s, b – половина реальной ширины статора двигателя, а также интервал, принимаемый при искусственной периодизации его поля.

В частности, если принять

$$b = a_s = a_r, \quad (32)$$

то, после преобразований, выражение (28) может быть приведено к виду:

$$\chi_z^{(h)} = e^{\alpha \cdot h} \cdot \left(\frac{3}{\pi}\right)^2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} R_n \cdot n^{-2} \cdot e^{-R_n \cdot \alpha \cdot h} \cdot \sin\left(n \cdot \frac{\pi}{3}\right). \quad (33)$$

В соответствии с первоначальным допущением, проводники обмотки индуктора рассматривались как бесконечно тонкие нити. В действительности же, сечение проводников – конечно и, в пределах этого сечения, напряжённость действующего на проводник внешнего магнитного поля может заметно изменяться. В связи с этим, силы, рассчитанные с учётом свойств поля в центре сечения, могут отличаться от истинных. Поскольку, по конструктивным соображениям, обмотка индуктора будет, скорее всего, иметь прямоугольное поперечное сечение, то анализ проводится именно для этого случая.

Предполагая, что ток распределён по сечению каждого проводника рассматриваемой обмотки, имеющего ориентацию нормали к оси пути, равномерно с плотностью:

$$\rho = I_r \cdot s^{-1} = I_r \cdot 0,25 \cdot p^{-1} \cdot q \cdot -1, \quad (34)$$

где $2 \cdot p, 2 \cdot q$ – ширина и высота поперечного сечения такого проводника.

Сила взаимодействия поля, создаваемого этим током, с якорным полем двигателя может быть описана выражением [20]:

$$f_x = k_{rx} \cdot f_{x0} \quad (35)$$

где f_{x0} – значение той же силы, полученное в предположении, что весь упомянутый ток сосредоточен в нити, проходящей через центр поперечного сечения проводника. Величина же

$$k_{rx} = \left[1 - \frac{p^2 - q^2}{6} \cdot \alpha^2 + \frac{3 \cdot p^4 - 10 \cdot p^2 \cdot q^2 + 3 \cdot q^4}{360} \cdot \alpha^4 + \dots \right] \quad (36)$$

представляет собой поправочный коэффициент, учитывающий конечность размеров поперечного сечения проводника и зависящий как от соотношения этих размеров между собой, так и с полюсным делением двигателя τ .

Рассуждения, подобные приведенным, могут быть проведены относительно любого проводника индукторной обмотки. В таком случае, окончательно, с учётом конечности



как ширины якоря ЛСД, так и размеров сечения проводников его индуктора, тяговое усилие двигателя может быть описано совокупностью выражений (25), (29), (32), (33), а также соотношения, подобного (26), (27) и преобразованного к виду:

$$\Phi = 3 \cdot \chi_z^{(h)} \cdot k_{r,x} \cdot \mu_0 \cdot a_r \cdot I_r \cdot \Lambda_m \cdot e^{-\alpha \cdot h} \cdot \cos(\nu) \quad (37)$$

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Полученная математическая модель возникновения тягового усилия ЛСД, в процессе реализации им электромеханического энергетического преобразования, базируется на использовании полевой парадигмы исследования, что гарантирует высокую физическую адекватность, точность, а также умеренную ресурсоёмкость такого исследования [8, 9, 20]. Этим исчерпывающе достигнута цель описанного его этапа. Следующий этап должен состоять в высокорелевантной трансформации указанной математической модели в адекватную компьютерную.

В процессе электромеханического преобразования, между различными элементами ЛСД МЛП, помимо тяговых усилий, возникает немало иных взаимодействий, в том числе, механического характера [9, 16, 20]. Однако, как отмечалось, целью настоящего исследования является получение корректного описания возникновения тягового усилия ЛД МЛП. Поэтому, в процессе грядущих исследований динамики электромагнитной подсистемы (ЭМП) МЛП, должны быть, в частности, построены и модели иных, отличных от тяговых, взаимодействий ЭМП и МП поезда.

В качестве одной из предпосылок проведения настоящего исследования было введено предположение о пренебрежимо малом влиянии высших гармоник пространственного распределения поля якоря ЛСД на текущие значения реализуемого им тягового усилия. В то же время, поскольку указанные высшие гармоники поля движутся относительно якоря со скоростью, которая в k раз ниже синхронной, то, в отличие от первой гармоники этого поля, они воспринимаются индуктором как поля переменные. Поэтому учёт таких высших гармоник поля может оказаться актуальным в случае применения в двигателе СПОВ, чувствительных к воздействию даже относительно слабых переменных магнитных полей. Исследования, направленные на реализацию такого учёта, должны быть проведены в дальнейшем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веселовский О. Н. Линейные асинхронные двигатели / О. Н. Веселовский, А. Ю. Коняев, Ф. Н. Сарапулов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
2. Коськин Ю. П. Синхронные машины с немагнитным ротором / Ю. П. Коськин, Л. А. Цейтлин – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 280 с.
3. Ямамура С. Теория линейных асинхронных двигателей / Пер. с англ. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 180 с.
4. Транспорт с магнитным подвесом / [В. И. Бочаров, Ю. А. Бахвалов, В. А. Винокуров, В. Д. Нагорский]. – М. : Машиностроение, 1991. – 314 с.
5. Винокуров В. А. Линейный синхронный двигатель с гиперпроводящей обмоткой возбуждения / В. А. Винокуров, А. А. Аршинов, Т. А. Тараканов // Тр. Моск. ин-та инж. ж.-д. трансп., Вып. 572. – М., 1977. – С. 65-77.
6. Kolmand M. M. Themagneplane: Guided electromagnetic flight / M. M. Kolmand, R. D. Thornton // Proc. Apple. Supercond. Conf. – Annapolis, Md, 1972. – P. 110-117.
7. Takahashi T. Combined system for propulsion and guidance of magnetically suspended vehicles / T. Takahashi, N. Maki, T. Miyashita // Proc. of the fifth International Cryogenic Engineering Conference (ICEC-5) – Kyoto, 1974. – P. 78-81.
8. Высокоскоростной наземный транспорт с линейным приводом и магнитным подвесом / [В. И. Бочаров, В. А. Винокуров, И. П. Исаев и др.; под ред. В. И. Бочарова, В. Д. Нагорского]. – М. : Транспорт, 1985 – 279 с.



9. Герасев О. А. Трёхмерная модель линейного синхронного двигателя / О. А. Герасев, Ю. П. Коськин, Л. А. Цейтлин // Изв. АН СССР, сер. энергетика и транспорт. – 1979. – № 2 – С. 49-60.
10. Сика З. К. Электродинамическая левитация и линейные синхронные двигатели транспортных систем / З. К. Сика, И. И. Куркалов, Б. А. Петров – Рига : Зинатне, 1988. – 258 с.
11. Kiene V. Электродинамическая система подвешивания в сочетании с ЛСД без активного железа в новейших экспериментах ЯНЖД // Elektrische bahnen. – 1973. – Bd 44, № 4. – P. 6-9.
12. Atherton D. L. High speed Maglev studies in Canada / D. L. Atherton, A. R. Eastham // Proc. of the fifth International Cryogenic Engineering Conference (ICEC-5). – Kyoto, 1974 – P. 46-50.
13. Buchberger H. Fahrzeugaattributione mit synchronen linearmotoren / H. Buchberger, W. Leitgeb // Elek. Bahnen. – 1975. – V. 46, № 4. – P. 82-85.
14. Kolmand M. M. The magneplane: Guided electromagnetic flight / M. M. Kolmand, R. D. Thornton // Proc. Appl. Supercond. Conf. – Annapolis, Md., 1972 – P. 129-137.
15. Ross J. A. Transportation system with integrated magnetic suspension and propulsion // In : NEREM 72 Rec. – Boston Mass., 1972 – pt. 1 – New York, 1972 – P. 266-269.
16. Дзензерский В. А. 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.
17. Копылов И. П. Электрические машины / И. П. Копылов – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.
18. Бочаров В. И. Транспорт на сверхпроводящих магнитах / В. И. Бочаров, И. В. Салли, В. А. Дзензерский – Ростов-на-Дону : Из-во РГУ, 1988. – 152 с.
19. Калантаров П. Л. Расчёт индуктивностей : справочная книга // П. Л. Калантаров, Л. А. Цейтлин. – Л. : Энергоиздат. ленингр. отд-ние, 1986. – 488 с.
20. Герасев О. А. Основы теории и расчёта линейного синхронного двигателя для высокоскоростного наземного транспорта / О. А. Герасев, Ю. П. Коськин, Л. А. Цейтлин // Изв. АН СССР, сер. энергетика и транспорт. – 1979. – № 1. – С. 111-122.

Поляков В.О., Хачапурідзе Н.М. ДИНАМІКА ТЯГОВОЇ ПІДСИСТЕМИ МАГНІТОЛЕВІТУЮЧОГО ПОЇЗДА (ПОЛЬОВА ПАРАДИГМА ДОСЛІДЖЕННЯ)

Показані переваги лінійного синхронного двигуна із надпровідною обмоткою збудження для цілей тяги магнітолевітуючого поїзда. Побудова моделі процесу реалізації тягового зусилля такого двигуна визначена в якості цілі статті. Обраний польовий тип парадигми дослідження. Показані його переваги для досягнення визначеної цілі. Шукана модель побудована методами теорії електромагнітного поля. Підведені підсумки дослідження. Виявлені й констатовані його логічно необхідні продовження.

Ключові слова: моделювання, магнітолевітуючий поїзд, лінійний синхронний двигун, польова парадигма дослідження, тягове зусилля.

Polyakov V.A., Hachapurydze N.M. DYNAMICS OF MAGNETIC LEVITATION TRAIN TRACTION SUBSYSTEM (FIELD RESEARCH PARADIGM)

The advantages of linear synchronous engine with superconducting field winding for maglev train traction purposes are shown in this article. The article object is modeling of such engine traction realization process. The field type of research paradigm is selected. The advantages of its using for certain aim achievement is shown. The required model is constructed by electromagnetic field theory methods. The research summary was made. The necessity of its logical continuation was determined and stated.

Keywords: modeling, maglev train, the linear synchronous engine, a field paradigm of research, traction force.



УДК 656.7.084.17(08)

МЕТОДИ ТЕОРІЇ ГРАФІВ У СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОМУ АНАЛІЗІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ ДИСПЕТЧЕРСЬКОЇ ЗМІНИ, ЯК НЕВЕЛИКОЇ ГРУПИ АВІАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ

Рева О.М.

Кіровоградський національний технічний університет,

Невиніцин А.М.

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету,

Бірюков Ю.Ю.

Львівський регіональний структурний підрозділ ДП «Украерорух»,

Савонина Н.А.

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету

Офіційна структура диспетчерської зміни подана у вигляді графа, вершини якого уявляються як окремі авіадиспетчери на визначених диспетчерських пунктах, а ребра – функціональні зв'язки між ними. Маючи мінімальну апріорну інформацію у вигляді наявності зв'язків між елементами, що утворюють структуру диспетчерської зміни, за визначеними показниками встановлено, що вона є зв'язаною і має максимальну надійність. Діаметр структури дорівнює двум крокам-ребрам між максимально віддаленими елементами. Обчислені також показники керованості групою, рівномірності розподілу зв'язків, структурної компактності, ступеня централізації та показники периферійності вузлів та графа в цілому.

Ключові слова: структурно-функціональна надійність, диспетчерська зміна, невелика група авіаційних операторів, методи теорії графів, показники ефективності структури.

Вступ. Вже протягом кількох десятиліть людський чинник (ЛЧ) є сталою першопрчиною абсолютної більшості авіаційних пригод (АП). І хоча на теперішній час рівень безпеки польотів (БП) незрівняно вище, ніж він був, скажімо, 60-70 років тому, роль ЛЧ, на жаль, не змінилися, незважаючи на його повсюдне визнання. Причому останнім часом авіаційними установами, адміністраціями, дослідниками все більше уваги приділяється питанням проактивного попередження негативного впливу ЛЧ на БП, що позитивно впливає на управління чинниками ризику [1, 2]. Таким чином, йдеться про ідеологію профілактики АП, що заснована на попереджувальному виявленні і усуненні небезпечних чинників (чинників ризику) в компонентах авіаційних систем, а також попередженні інцидентів, аварій і катастроф на основі оцінки їх ризиків.

Актуальність досліджень. Слід зазначити, що ІКАО, узагальнюючи практичний досвід провідних авіакомпаній і результати наукових досліджень, видала майже 30 різноманітних керівництв та збірників з проблем впливу ЛЧ на БП. Однак, при цьому недостатньо уваги приділяється діяльності авіаційних операторів (АО), тобто авіадиспетчерів (А/Д) в аеронавігаційних системах. Ще менше досліджень присвячено проактивному вдосконаленню діяльності невеликих груп АО (диспетчерських змін (ДЗ), льотних екіпажів), хоча відповідні проблеми явно є областю досліджень такої нової наукової дисципліни, як організаційна ергономіка [3, 4]. І якщо підходить до аналізу ДЗ і аеронавігаційної системи в цілому з позицій системного аналізу і організаційної ергономіки, то йдеться про гуманістичну (у розумінні Л. Заде [5]) активну [6], організаційну [7] систему, функціонування якої нормативно регламентується ІКАО [8] і яка обов'язково має розвинуту структуру [9].

Однак, відповідні структури формувалися, виходячи з багатого практичного досвіду їх розробників, тому не мають наукового обґрунтування і не є досконалими. При цьому дослідження ефективності структурно-функціональної організації зазначених систем проводилися С. Д. Кульназаровим (Казахстан), В. І. Вдовиченком, І. М. Устименком (Росія), Г. Л. Барановим, А. В. Макаровим, О. М. Ревую (Україна) та ін. [10-12 та ін.].

Постановка задачі. Виходячи з наведеного, **метою** цього дослідження є



формування структури ДЗ, розгляд та опис процесів взаємодій її членів між собою під в процесі безпосереднього обслуговування повітряного руху (ОПР).

Характеристика ДЗ, як невеликої групи АО. Під структурою системи розуміється сукупність елементів і зв'язків між ними, визначуваних, виходячи з розподілу функцій і цілей, що поставлені перед системою. І якщо структура спроектована довільно, система може давати збої, особливо при роботі в умовах перевантаження. На рис. 1 подані приклади типової структурно-функціональної організації діяльності установ чи спільної роботи окремих працівників [13-15]. І як можна побачити з рис. 2, структурно-функціональна схема організації діяльності ДЗ як невеликої групи АО є ієрархічною та «неповною мережею».

За визначенням, невелика група – це об'єднання людей, які мають спільно важливу соціальну ознаку, основу на їх участі у деякій діяльності, зв'язаної системою відносин, які регулюються формальними або неформальними соціальними інститутами.

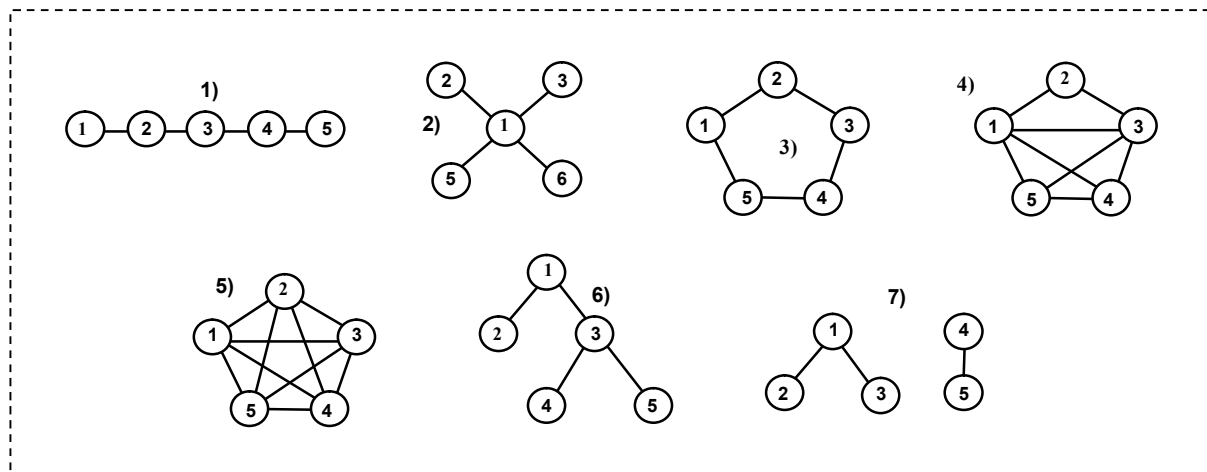


Рисунок 1 – Приклади типової структурно-функціональної організації: 1) – «ланцюжок»; 2) – «зірка»; 3) – «коло»; 4) – «мережа неповна»; 5) – «мережа повна»; 6) – «дерево»; 7) – «незв'язана»

Основними ознаками невеликої групи є [15-18]:

- наявність внутрішньої організації;
- спільна (групова) ціль діяльності;
- групові форми соціального контролю;
- зразки (моделі) групової діяльності;
- інтенсивні групові взаємодії;
- відчуття групової приналежності або членства;
- рольова узгоджена один з одним участь членів групи у спільній діяльності або співучасть;
- рольові очікування членів групи відносно один одного.

Розглянемо ці ознаки у ракурсі ДЗ, діяльність якої регламентується документами ІКАО, яка видає відповідні норми та рекомендації. У будь-якій діяльності наявність внутрішньої організації є її невід'ємною частиною. Оскільки всі А/Д об'єднані єдиною метою – забезпечення безпечного та ефективного використання повітряного простору, це теж доводить, що ДЗ має ще одну ознаку невеликої групи. У ДЗ зміні, як і у будь-якій іншій організації, є керівництво та підлеглі. Роль керівництва у ДЗ виконує КП. Старший диспетчер є заступником КП. Також є диспетчери-інструктори, які мають допуск до навчання А/Д під час стажування. Методи групової роботи ґрунтуються на активності кожного суб'єкта з ОПР, можливості самостійно приймати рішення (ПР) і здійснювати вибір, а також на співіснуванні різних точок зору і вільному їх обговоренні під час відповідних розборів. При груповій роботі реалізуються такі основні принципи кооперації: позитивна взаємозалежність; індивідуальна відповідальність; стимулювання успіху один одного.

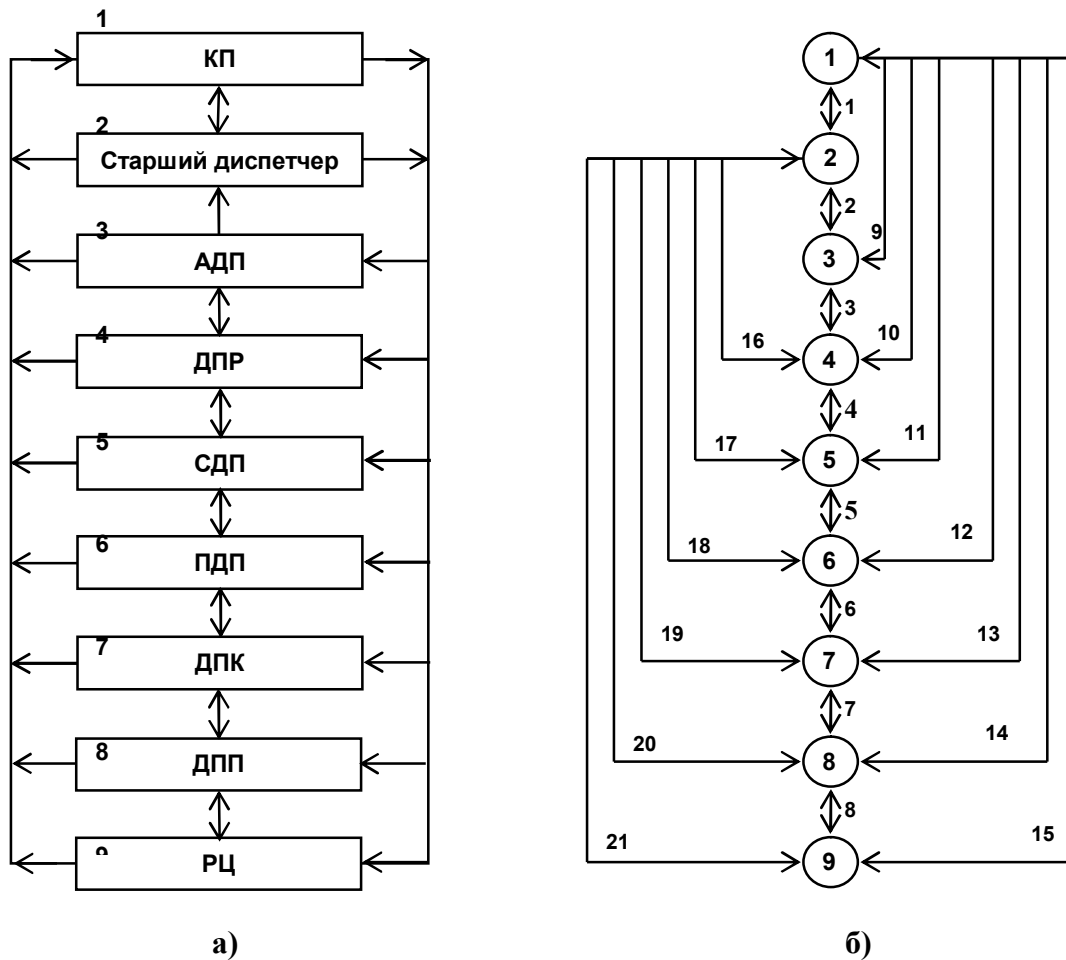


Рисунок 2 – Структурно-функціональна схема організації діяльності диспетчерської зміни:
 а) – загальна; б) – у виді графа; СД – старший А/Д; АДП – аеродромний диспетчерський пункт (ДП); ДПР – ДП «Руління»; СДП – ДП «Старта»; ПДП – ДП «Посадки»; ДПК – ДП «Круга»; ДПП – ДП «Підхід»; РЦ – ДП «Контроля» (районного центра)

Визначено «нижню» та «верхню» кількісну межу невеликої групи. Найменша невелика група утворюється двома АО – це так звана «діада». В ній можливе виникнення, формування і розвиток реальних процесів, які відбуваються в групі на рівні міжособистісного спілкування та взаємодії. Щодо «верхньої» межі невеликої групи, то тут загальноприйнято орієнтуватися на так зване «магічне число» Г. Міллера (7 ± 2), що було встановлене при дослідженнях об'єму оперативної пам'яті [19]. Його зазвичай вважають оптимальним кількісним складом невеликої групи. Однак в реальності мірилом кількісного складу виступає не формальне число членів, а потреби спільної групової діяльності. Тому невелика група (ДЗ) може об'єднувати до 50 осіб.

Організація праці А/Д являє собою комплексний процес взаємодії авіаційних ДП, що визначає інтенсивні групові взаємодії диспетчерів у зміні.

Для забезпечення ефективного ОНР і контролю польотів повітряних суден (ПС), повітряний простір ділиться на класи і райони відповідальності ДП. За типом виконуваних технологічних завдань їх поділяють на ДП планування використання повітряного простору та ДП безпосереднього управління повітряним рухом (УПР). Кожен А/Д працює на своєму, призначеному йому КП пункті, на якому він має допуск до УПР. Таким чином, кожен А/Д працює на певному робочому місці і взаємодіє з суміжними диспетчерами, при виході ПС із зони його відповідальності і відповідно при вході ПС в зону його контролю.

Авіадиспетчер – авіаційний фахівець, що здійснює контроль і ОНР з ДП. Це і визначає почуття групової приналежності, або членства кожного А/Д у зміні. Головною функцією А/Д є забезпечення безпечного, регулярного і впорядкованого руху ПС. Для



успішного виконання цієї функції А/Д використовує знання повітряної навігації, авіаційної метеорології, а також строго встановлені правила й інструкції, що регламентують детальним чином усі аспекти його діяльності. Наприклад, для забезпечення безпечного розходження ПС в повітрі, А/Д застосовує правила вертикального, бокового та поперечного ешелонування (розосередження ПС на безпечні відстані в горизонтальній і вертикальній площинах). Внаслідок того, що робота А/Д дуже відповідальна і від якості виконання цієї роботи залежить велика кількість людських життів, існує чітка структура ДЗ (рис. 2).

Структурно-функціональний аналіз діяльності ДЗ. Основною позитивною рисою дослідження офіційних структур є потреба у мінімальному об'ємі апіорної інформації про неї у вигляді наявності зв'язків між елементами, що утворюють структуру. Тому скористаємось структурно-функціональною схемою диспетчерської зміни, що подана на рис. 2б, де кружками, що є вузлами графа, позначені окремі А/Д – члени ДЗ, а лініями – зв'язки між ними. При цьому вважаємо, що всі лінії, що об'єднують два вузли, однакові і пов'язані одиницею відстані. Як можна побачити з рис. 2а, досліджувана структура-граф має $n=9$ вершин і $m=21$ ребро. Для аналізу ефективності структури розрахуємо ряд показників, що характеризують граф. Для цього необхідно побудувати матрицю інциденцій (сумісності) $A = \|a_{ij}\|$ вершин графа (табл. 1), елементи якої визначаються таким чином

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i - \text{й А/Д технологічно зв'язаний з } j - \text{тим} \\ 0, & \text{в протилежному випадку} \end{cases} \quad (1)$$

Таблиця 1 – Матриця інциденцій вершин графа-моделі структурно-функціональної організації діяльності диспетчерської зміни

Вершина графа i	Вершина графа j									$\sum_j a_{ij}$
	1 (КП)	2 (СД)	3 (АДП)	4 (ДПР)	5 (СДП)	6 (ПДП)	7 (ДПК)	8 (ДПП)	9 (РЦ)	
1 (КП)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2 (СД)	–	1	1	1	1	1	1	1	1	8
3 (АДП)	1	–	1	1	1	1	1	1	1	8
4 (ДПР)	1	1	–	1	0	0	0	0	0	3
5 (СДП)	1	1	1	–	1	0	0	0	0	4
6 (ПДП)	1	1	0	1	–	1	0	0	0	4
7 (ДПК)	1	1	0	0	1	–	1	0	0	4
8 (ДПП)	1	1	0	0	0	1	–	1	0	4
9 (РЦ)	1	1	0	0	0	0	1	–	1	4
$\sum_i \sum_j a_{ij}$										42

Отже, організація роботи А/Д являє собою комплексний процес взаємодії авіаційних диспетчерських пунктів (ДП), що визначає інтенсивні групові взаємодії у зміні.

Для аналізу ефективності структури розрахуємо ряд показників, що характеризують граф [11-16, 20; 21]. Насамперед слід визначитися зі **зв'язаністю графа**. Граф вважається зв'язаним, якщо для любых вершин i та j існує ланцюг, який їх зв'язує. Відповідна кількісна характеристика дозволяє виявити наявність обривів у структурі, висячі вершини та інше. Показник зв'язаності усіх елементів відповідає виконанню такої умови:

$$i \neq j: \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \geq (n-1) \Leftrightarrow \frac{1}{2} 42 \geq (9-1) \Leftrightarrow 21 > 8. \quad (2)$$

Таким чином, граф-модель взаємодії у А/Д у типовій ДЗ (рис. 2), яку ми аналізуємо за допомогою матриці інциденцій (табл. 1) є зв'язаним.



Структурна надмірність (чи живучість групи) R відображає перевищення загальної кількості зв'язків над мінімально-необхідною:

$$R = \frac{1}{2(n-1)} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \right] - 1 = \frac{1}{2(9-1)} - 1 = 1,6 > 0. \quad (3)$$

Вважається, що якщо:

$$\begin{cases} R > 0 - \text{система має максимальну надмірність;} \\ R = 0 - \text{система має мінімальну надмірність;} \\ R < 0 - \text{система нерозв'язана.} \end{cases} \quad (4)$$

Спираючись на результати обчислень (3) та вираз (4) робимо висновок, що досліджуваний граф-модель функціонування ДЗ максимальну надмірність.

Момент групи характеризує керованість нею формальним лідером (КП та СД, який дублює його дії) та обчислюється за формулою

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{a_i^2} \sum_{i=1}^n (a_i - a_i) = \frac{42}{8^2} [(8-3) \cdot 2 + (8-4) \cdot 5] = 19,7, \quad (5)$$

де a_i – кількість зв'язків лідера групи. У нашому випадку (табл. 1) лідером ДЗ є КП старший диспетчер, який дублює його роботу, що й знайшло відображення у відповідних обчисленнях (5). Встановлено, що за інших рівних умов структура групи буде тим ефективніша, чим більше будуть значення показників R та M .

Рівномірний розподіл зв'язків в структурі графа. Природно, що система з більшою надмірністю R потенційно безпечніша, але в деяких завданнях аналізу структурної надійності її доцільно доповнити параметрами, що враховують нерівномірність розподілу зв'язків ε^2 , який характеризує недовикористання можливостей структури, що має m ребер і n вершин, в досягненні максимальної зв'язаності. Для визначення показника ε^2 будується матриця інцидентів вершин та ребер графа (табл. 2) і застосовується така формула:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2 = \sum_{i=1}^n \rho_i^2 - 4 \frac{m^2}{n} = (8^2 \cdot 2 + 3^2 \cdot 2 + 4^2 \cdot 5) - 4 \frac{21^2}{9} = 30. \quad (6)$$

де $m=21$ – кількість ребер графа, котрий відображає матриця інцидентів табл. 2.

Структурна компактність D . Для її кількісної оцінки вводиться параметр, що відображає близькість вершин графа. Близькість двох вершин i і j має сенс відстані і визначається мінімальною довжиною ланцюга d_{ij} з найменшим числом ланок (ребер), якими можна пройти з одного вузла в іншій (табл. 3).

Тоді маємо:

$$i \neq j: D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} = 113. \quad (7)$$

Для кількісної оцінки структурної компактності часто використовують такий відносний показник:

$$D_{відн} = \frac{D}{D_{\min}} - 1 = \frac{113}{9(9-1)} - 1 = 0,57, \quad (8)$$

де $D_{\min} = n(n-1)$ – мінімальне значення компактності структури.



Таблиця 2 – Матриця інциденцій вершин і ребер графа-моделі структурно-функціональної організації діяльності диспетчерської зміни

Ребро <i>j</i>	Вершина <i>i</i>								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	–	–	–	–	–	–	–
2	–	1	1	–	–	–	–	–	–
3	–	–	1	1	–	–	–	–	–
4	–	–	–	1	1	–	–	–	–
5	–	–	–	–	1	1	–	–	–
6	–	–	–	–	–	1	1	–	–
7	–	–	–	–	–	–	1	1	–
8	–	–	–	–	–	–	–	1	1
9	1	–	1	–	–	–	–	–	–
10	1	–	–	1	–	–	–	–	–
11	1	–	–	–	1	–	–	–	–
12	1	–	–	–	–	1	–	–	–
13	1	–	–	–	–	–	1	–	–
14	1	–	–	–	–	–	–	1	–
15	1	–	–	–	–	–	–	–	1
16	–	1	–	1	–	–	–	–	–
17	–	1	–	–	1	–	–	–	–
18	–	1	–	–	–	1	–	–	–
19	–	1	–	–	–	–	1	–	–
20	–	1	–	–	–	–	–	1	–
21	–	1	–	–	–	–	–	–	1
$\sum_j \rho_{ij}$	8	8	3	4	4	4	4	4	3

Таблиця 3 – Матриця відстаней між вершинами графа

Вершина графа <i>i</i>	Вершина графа <i>j</i>									$\sum_j d_{ij}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	8
3	1	1	0	1	2	2	2	2	2	13
4	1	1	1	0	1	2	2	2	2	12
5	1	1	2	1	0	1	2	2	2	12
6	1	1	2	2	1	0	1	2	2	12
7	1	1	2	2	2	1	0	1	2	12
8	1	1	2	2	2	2	1	0	1	12
9	1	1	2	2	2	2	2	1	0	13
$\sum_i \sum_j d_{ij}$										113

Структурну компактність характеризує також і показник – **діаметра структури**:

$$d = \max_{ij} d_{ij} = 2. \tag{9}$$

Враховуючи переважаючий інформаційний характер зв'язків в структурно-функціональній ДЗ, можна з упевненістю сказати, що $D_{відн.}$ і d інтегрально оцінюють інерційність інформаційних процесів в системі, а при рівних значеннях ε^2 і R їх збільшення відображає зростання кількості роз'єднуючих зв'язків. При цьому слід зазначити, що така ситуація сприяє зниженню загальної надійності системи.

Ступінь централізації в структурі. Для її кількісної оцінки використовується поняття індексу центральності:



$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)} = \frac{(9-1)(2 \cdot 7,06 - 9)}{7,06(9-2)} = 0,83, \quad (10)$$

де z_{\max} – максимальне значення показника:

$$i = \overline{1, n}, \quad i \neq j: \quad \max \left(z_i = \frac{D}{2} \left(\sum_{j=1}^n d_{ij} \right)^{-1} \right) = z_1 = z_2 = 7,06. \quad (11)$$

Кожен i -тий вузол графа характеризується показниками центральності:

$$C_i = \frac{\sum_j \sum_j d_{ij}}{\sum_j d_{ij}}. \quad (12)$$

Показник центральності C_i володіє тим недоліком, що додавання нових вузлів до графа, не міняючи позиції вузла з максимальною центральністю, змінює в той же час числове значення центральності цього вузла. Щоб уникнути цього, вводиться поняття відносної периферійності вузла:

$$P_i = C_{\max} - C_i \quad (13)$$

и повної периферійності графа:

$$P = \sum_i P_i. \quad (14)$$

Уявляється можливим пронормувати периферійність вузлів і графа в цілому, розділивши (13) на C_{\max} , а (14) – ще й на n . Тоді отримуємо:

$$P_i = \frac{C_{\max} - C_i}{C_{\max}} = 1 - \frac{C_i}{C_{\max}}, \quad (15)$$

$$P = \frac{1}{n} \sum_i P_i = \frac{1}{n} \sum_i \left(1 - \frac{C_i}{C_{\max}} \right) = 1 - \frac{1}{nC_{\max}} \sum_i C_i. \quad (16)$$

Всі розраховані значення показників структурної периферійності подані в табл. 4. Таблиця 4 – Показники структурної периферійності вузлів графа структурно-функціональної схеми організації діяльності диспетчерської зміни (фрагмент)

Вершина i	C_i	P_i	P_i°
1	14,1	0	0,26
2	14,1	0	0,26
3	8,7	5,4	0,26
4	9,4	4,7	0,26
5	9,4	4,7	0,26
6	9,4	4,7	0,26
7	9,4	4,7	0,26
8	9,4	4,7	0,26
9	8,7	5,4	0,26

Таким чином, результати проведених досліджень показують високу ефективність методів теорії графів в структурно-функціональному аналізі організації діяльності ДЗ. При цьому зазначимо, що при розробці нових структур слід обов'язково враховувати можливості процесів управління, а також особливостей групової діяльності. При цьому необхідно прагнути до зменшення показника периферійності і числа ребер графа. Проте,



необхідно також враховувати психологічні можливості операторів по прийому і переробці інформації, оскільки прагнення до спрощення функціональної структури групи може привести до неприпустимого інформаційного перевантаження людини-оператора (Л-О).

Структурні характеристики і показники, що були розглянуті, отримані тільки на основі інформації про склад елементів ДЗ і їх зв'язки. Подальший розвиток методології структурних параметрів для вирішення завдань структурного аналізу припускає врахування не структурної інформації шляхом введення кількісних функцій на графах. Такий підхід, безумовно, перспективний, оскільки дозволяє разом зі складом елементів і їх зв'язками врахувати і визначити часові, надійнісні, вартісні та інші показники взаємодії.

Висновки. Провівши структурно-функціональний аналіз діяльності ДЗ як невеликої групи авіаційних операторів, вкажемо на такі найбільш суттєві положення. Основною позитивною рисою дослідження офіційних структур є потреба у мінімальному об'ємі апіорної інформації про неї у вигляді наявності зв'язків між елементами, що утворюють структуру. Структура є зв'язаною і має максимальну надійність. Діаметр структури дорівнює двум крокам-ребрам між максимально віддаленими елементами. Обчислені також показники керованості групою, рівномірності розподілу зв'язків, структурної компактності, ступеня централізації та показники периферійності вузлів та графа в цілому.

Подальші дослідження ефективності структури діяльності ДЗ як невеликої групи АО слід проводити увівши функції на графах, а також застосовуючи організаційні графи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козлов В. В. Управление безопасностью полетов: что это такое? / В. В. Козлов. – М. : ОАО «Аэрофлот», 2008. – 22 с.
2. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП): Doc. ICAO 9859 – AN / 474. – Монреаль, Канада, 2009.
3. Человеческий фактор в управлении и организации : Сборник материалов № 10. – Циркуляр ИКАО 247-AN/148. – Монреаль, Канада, 1993. – 48 с.
4. Герасимов Б. М. Організаційна ергономіка: Методи та алгоритми досліджень і проектування : монографія / Б. М. Герасимов, В. В. Камишин. – К. : Інформаційні системи, 2009. – 212 с.
5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений : пер. с англ. Н.И. Ринго / Л. Заде ; [под ред. Н. Н. Моисеева, С. А. Орловского]. – М. : Мир, 1976. – 165 с.
6. Бурков В. Н. Теория активных систем: состояние и перспективы / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. – М. : Синтег, 1999. – 128 с.
7. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – М. : МПСИ, 2005. – 584 с.
8. Обслуживание воздушного движения (Диспетчерское обслуживание воздушного движения, полетно-информационное обслуживание, служба аварийного оповещения) : Приложение 11 к Конвенции о международной гражданской авиации. – Изд-е тринадцатое. – Монреаль, Канада. – июль 2001.
9. Баранов Г. Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г. Л. Баранов, А. В. Макаров. – К. : Наукова думка, 1986. – 272 с.
10. Рева А. Н. Показатели структурной эффективности организации диспетчерской смены как малой группы авиационных операторов / А. Н. Рева, С. Д. Кульназаров // Перспективы развития гражданской авиации и подготовка высококвалифицированных кадров : сб. тр. 1-й Междун. конф. ; (Алматы, 18-22 сентября 2000 г.) – Алматы : КазГУ, 2000. – Ч. I. – С. 83-92.
11. Рева О. М. Оцінка структурної ефективності служби руху (на прикладі Красноярського центра обслуговування повітряного руху) / О. М. Рева, В. І. Вдовиченко,



І. М. Устименко // Авіаційно-космічна техніка і технологія : наук.-техн. ж. – Х. : Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2012. – №10 (97). – С. 176–186.

12. Ивашкин Ю. А. Моделирование систем. Структурно-параметрические и агентно-ориентированные технологии : лабораторный практикум / Ю. А. Ивашкин, Е. А. Назойкин. – М. : МГУПБ, 2010. – 134 с.

13. Шибанов Г. П. Количественная оценка деятельности человека в системах «человек-техника» / Г. П. Шибанов. – М. : Машиностроение, 1983. – 263 с.

14. Рева О. М. Колективні рішення у невеликій групі авіаційних операторів : конспект лекцій з курсу «Основи теорії прийняття рішень». – Кіровоград : ДЛАУ, 1998. – 33 с.

15. Основы инженерной психологии : учеб. для вузов / Б. А. Душков, Б. Ф. Ломов, В. Ф. Рубахин и др. ; под ред. Б. Ф. Ломова. – М. : Высш. шк., 1986. – 448 с.

16. Немов Р. С. Психология : учеб. для студ. высш. пед. учеб. заведений. В 3-х кн. Кн. 1. Общие основы психологии / Р. С. Немов. – М. : Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2003. – 688 с.

17. Рогов Е. И. Психология группы / Е. И. Рогов. – М. : ВЛАДОС, 2005. – 430 с.

18. Miller G. The magical number seven, plus or minus two: some limits on or capacity for processing information / G. Miller // Psychological Review. – 1956. – № 63. – P. 81-97.

19. Нечипоренко В. И. Структурный анализ систем (Эффективность и надежность) / В. И. Нечипоренко. – М. : Советское радио, 1977. – 216 с.

20. Денисов А. А. Теория больших систем управления : учеб. пособ. / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. – Л. : Энергоиздат, 1981. – 238 с.

Рева А.Н., Невиницын А.Н., Бирюков Ю.Ю., Савонина Н.А. МЕТОДЫ ТЕОРИИ ГРАФОВ В СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СМЕНЫ КАК МАЛОЙ ГРУППЫ АВИАЦИОННЫХ ОПЕРАТОРОВ

Официальная структура диспетчерской смены представлена в виде графа, вершинами которого являются отдельные авиадиспетчеры на определенных диспетчерских пунктах, а ребра – функциональные связи между ними. Имея минимальную априорную информацию в виде наличия связей между элементами, которые образуют структуру диспетчерской смены, по определенным показателям установлено, что она является связанной и имеет максимальную надежность. Диаметр структуры равняется двум шагам-ребрам между максимально отдаленными элементами. Вычислены также показатели управляемости группой, равномерности распределения связей, структурной компактности, степени централизации и показатели периферийности узлов и графа в целом.

Ключевые слова: структурно функциональная надежность, диспетчерская смена, малая группа авиационных операторов, методы теории графов, показатели эффективности структуры.

Reva A.N., Nevinitcyn A.N., Birukov U.U., Savonina N.A. METHODS OF THE GRAPH THEORY IN THE STRUCTURAL FUNCTIONAL ANALYSIS OF THE ORGANIZATION OF THE ACTIVITY OF AN ATC SHIFT AS A SMALL GROUP OF AIR OPERATORS

The official structure of an ATC shift is presented in the form of the graph whose nodes are certain air traffic controllers in certain control offices, and links are the functional connections between them. Having the minimum aprioristic information in the form of existence of connections between the elements which form the structure of an ATC shift, using certain indicators it is established that the one is connected and has the maximum reliability. Diameter of the structure equals two steps- links between the most remote elements. The indicators of the group's controllability, the uniformity of distribution of connections, structural compactness, the degree of centralization and the periphery indicators of the nodes and the graph in whole are determined.

Keywords: structural functional reliability, ATC's shift, small group of aviation operators, methods of the theory of graphs, indicators of efficiency in a structure.



УДК 681.518.22

АНАЛІЗ ТА ФОРМАЛІЗОВАНИЙ ОПИС ЗБУРЮЮЧИХ ВПЛИВІВ НА СУДНО ПРИ ЙОГО ДИНАМІЧНОМУ ПОЗИЦІОНУВАННІ

Соколова Н.А.,

Херсонський національний технічний університет

Смольянов А.П.

Херсонська державна морська академія

У статті представлено процес, що полягає у переведенні судна з початкового неорієнтованого положення у наперед задане кінцеве орієнтоване положення, шляхом виконання певної послідовності орієнтуючих рухів, при якому змінюються лінійні та кутові координати, що визначають положення судна відносно абсолютної системи координат. Проведено аналіз збурюючих впливів зовнішнього середовища на судно при його динамічному позиціонуванні та представлено їх формалізований опис для структурованого представлення складу лінійних та кутових координат. Визначена кількість етапів процесу автоматичного позиціонування судна для побудови математичної моделі динаміки судна.

Ключові слова: автоматизована система управління, динамічне позиціонування, математична модель, збурюючий вплив, хвилювання моря, вітрові хвилі.

Постановка проблеми. Геостратегічне розташування України стимулює розвиток промисловості та економіки, її інтеграції до світового та європейського економічного простору. Провідними засобами ефективного використання промислового та економічного потенціалу будь-якої країни, зокрема України, є сучасна транспортна інфраструктура. Одним із стратегічних напрямків розвитку сучасної транспортної інфраструктури України як Європейської морської держави є розвиток її річкового та морського транспорту. Тому морські порти, зокрема морський транспорт України, є найважливішою складовою частиною не тільки транспортної, але й виробничої інфраструктури країни в цілому. У зв'язку з цим рівень технологічного та технічного оснащення, організаційно-правової системи функціонування та управління суднами, повинен відповідати сучасним вимогам, що встановлені у міжнародній транспортній системі. Вказане передбачає автоматизацію управління судами, зокрема їх динамічним позиціонуванням, як складової сучасного водного транспорту для забезпечення безпеки мореплавства в територіальному морі та внутрішніх морських водах України, закріплених конвенціями та іншими міжнародними договорами, стороною яких є й Україна [6, 7].

Вказане може бути забезпечено за рахунок створення спеціальних систем управління спрямованих на автоматизоване управління позиціонуванням судів із застосуванням різних методів і спеціальних засобів (вентильних пристроїв, інтерактивних комп'ютерних систем, штучного інтелекту тощо), що відповідають передовим досягненням науки та техніки. Останнє передбачає дослідження та формалізований опис збурюючих впливів зовнішнього середовища на судна при їх динамічному позиціонуванні з перспективою розробки математичної моделі динаміки судна, яка безперечно є основою відповідної системи управління.

Аналіз останніх джерел і публікацій показав, що питання автоматизованого управління позиціонуванням судів на сьогодні виділилось в окремий та актуальний напрямок наукових і практичних досліджень [1, 3, 5].

Формування мети статті. Позиціонування судна можна представити як процес, що полягає у переведенні судна із початкового неорієнтованого положення у наперед задане кінцеве орієнтоване положення, шляхом виконання певної послідовності орієнтуючих рухів, при якому змінюються лінійні та кутові координати, що визначають положення судна відносно абсолютної системи координат. Для структурованого представлення складу (сукупності) лінійних та кутових координат, що визначають



положення судна відносно абсолютної системи координат, з перспективою визначення послідовність орієнтуючих рухів, а також кількості етапів процесу автоматичного позиціонування судна та побудови математичної моделі динаміки судна необхідно провести детальний аналіз збурюючих впливів зовнішнього середовища на судно при його динамічному позиціонуванні.

Основний матеріал. Автоматизоване управління позиціонуванням судна є однією із перспективних задач, яка має місце при вирішенні завдання управління водним транспортом України як морської Європейської держави, з огляду на перспективи розвитку її промислового та економічного потенціалу. Ефективне управління водним транспортом передбачає використання відповідних автоматизованих систем управління, інформаційною основою яких є математична модель динаміки судна, яка повинна враховувати всі особливості цього процесу.

Значна складність задачі автоматизованого управління позиціонуванням судна обумовлюється тим, що рух судна відбувається на границі двох середовищ – водного та повітряного [1, 3, 5, 8], що безперечно вказує на те, що на судно діють різні типи силових впливів (ТСВ), які утворюються комплексною взаємодією цих середовищ, а також різноманітні зовнішні фактори – хвилі, течії, вітер, мілини тощо.

Управління позиціонуванням судна можна подати як динамічний процес, що розвивається у часі та полягає у переведенні судна із початкового неорієнтованого положення (ПНП) у наперед задане кінцеве орієнтоване положення (КОП) шляхом виконання певної послідовності кутових та лінійних переміщень, при яких змінюється множина лінійних $h \in (x_j; y_j; z_j)$ та кутових $b \in (\varphi_j; \theta_j; \psi_j)$ координат положення судна відносно абсолютної системи координат X, Y, Z в просторі $C \rightarrow (b_j; h_j)$, де b та h – відповідно кутові та лінійні координати судна. Цей процес можна представити як переведення системи координат X^C, Y^C, Z^C , зв'язаної з судном, із ПНП у КОП відносно абсолютної системи координат X, Y, Z . Причому відповідні положення $P(b_j; h_j)$ системи координат судна відносно абсолютної системи координат X, Y, Z в j -ий момент часу t можуть формалізовано описуватись множинами кутових b_j та лінійних координат h_j , де $P \in (\text{ПНП}, \text{КОП})$:

$$P(b; h) \rightarrow (h_j \{x_i; y_i; z_i\}; b_j \{\varphi_i; \theta_i; \psi_i\}), \quad (1)$$

де P – ПНП, КОП системи координат судна відповідно; h_j – лінійні координати судна, що описують положення системи координат судна відносно осей X, Y, Z абсолютної системи координат $h \in (x_j; y_j; z_j)$; b_j – кутові координати судна, що описують положення системи координат судна відносно осей X, Y, Z абсолютної системи координат $b \in (\varphi_j; \theta_j; \psi_j)$ відповідно.

При цьому множини кутових та лінійних переміщень, що необхідно здійснити для переведення судна із ПНП у КОП при динамічному позиціонуванні утворюють так званий склад орієнтуючих рухів (СОР). Відповідно СОР при автоматичному позиціонуванні судна може містити два типи орієнтуючих рухів: лінійні орієнтуючі рухи (ЛОР) та кутові орієнтуючі рухи (КОР), що реалізуються різними керуючими механізмами та засобами судна, наприклад, гребним гвинтом, кермом тощо.

Крім того відомо [1, 8], що на судно діють різні сили – зовнішні, що утворюються зовнішнім середовищем; рушійні, що утворюються керуючими пристроями судна, зокрема засобами керування кермом, засобами керування рушієм, засобами активного керування; реактивні, що вникають при переміщенні судна під дією рушійних сил та зовнішніх факторів, і залежать від лінійних та кутових швидкостей, а також обумовлюються інертністю судна та приєднаних мас рідини або в'язкістю води за бортом.

Очевидно, що СОР який необхідно виконати при динамічному позиціонуванні судна обумовлюється природнім впливом зовнішніх та реактивних сил, що утворюють



перешкоди, або, так звані, збурюючі впливи $F(t)$ при управлінні судном, зокрема сукупним впливом повітряного та водного середовищ на границі яких функціонує судно. Взаємодія цих двох середовищ утворює різні за своєю фізичною природою типи силових впливів (ТСВ) на судно – гідравлічні та аеродинамічні, зокрема сила хвилювання водного середовища (океану, моря, річки тощо), сила течії, сила вітру. Збурюючі впливи $F(t)$ зовнішнього середовища обумовлюють відхилення системи координат X^C, Y^C, Z^C , зв'язаної з судном від абсолютної системи координат X, Y, Z відносно якої здійснюється позиціонування судна (рис. 1).

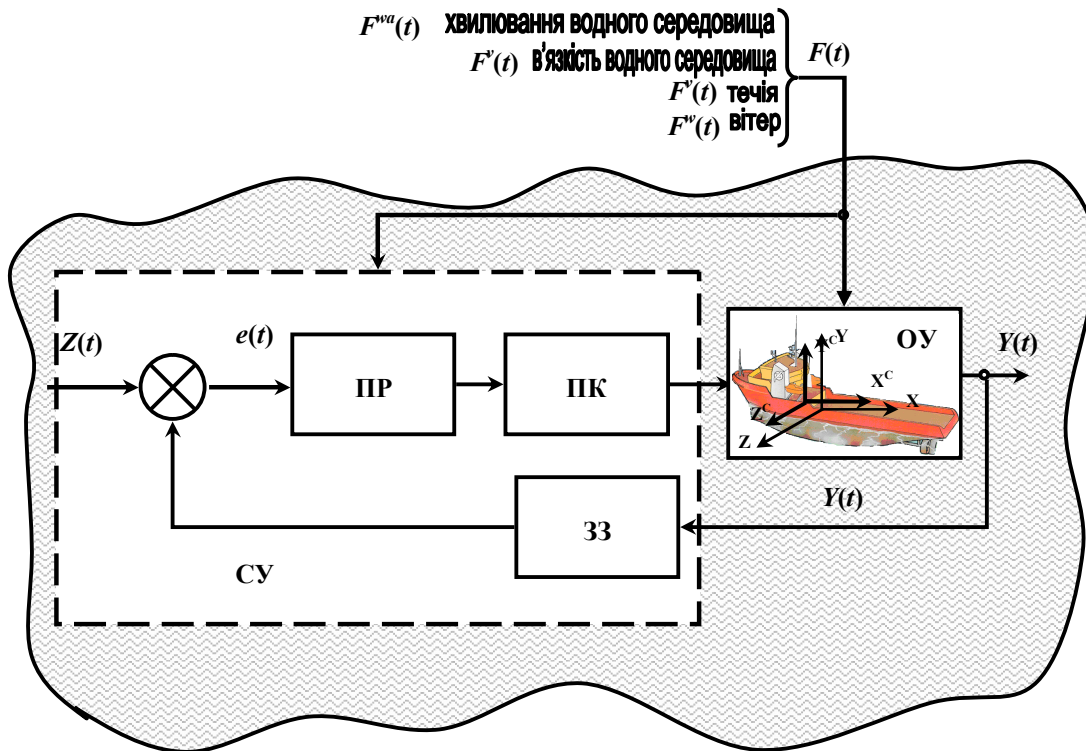


Рисунок 1 – Узагальнена схема управління динамічним позиціонуванням судна: $Z(t)$ – вхідний сигнал (інформаційний потік), $e(t)$ – сигнал похибки або неузгодженості, $Y(t)$ – вихідний сигнал (інформаційний потік), $F(t)$ – збурюючий вплив, СУ – система управління, ПР – підсистема регулювання, ПК – підсистема керування, ОУ – об'єкт управління, ЗЗ – зворотній зв'язок

Для структурованого представлення складу (сукупності) лінійних та кутових координат, що визначають положення судна відносно абсолютної системи координат, з перспективою визначення послідовність орієнтуючих рухів, а також кількості етапів процесу автоматичного позиціонування судна та побудови математичної моделі його динаміки необхідно провести детальний аналіз збурюючих впливів на судно при його динамічному позиціонуванні.

Збурюючий вплив зовнішнього середовища $F(t)$ на судно може бути представлений множиною підфункцій, що характеризують впливи відповідних елементів зовнішнього середовища в якому функціонує судно, наприклад підфункцією, що описує збурюючий вплив вітру $F^v(t)$, підфункцією, що описує збурюючий вплив хвилювання водного середовища $F^{wa}(t)$, підфункцією, що описує збурюючий вплив течії $F^t(t)$ тощо наступним чином:

$$F(t) \rightarrow \{F^v(t), F^{wa}(t), F^t(t), F^v(t)\}, \quad (2)$$

де $F(t)$ – збурюючий вплив зовнішнього середовища; $F^v(t)$ – збурюючий вплив, обумовлений вітром; $F^{wa}(t)$ – збурюючий вплив, обумовлений хвилюванням водного



середовища; $F^f(t)$ – збурюючий вплив, обумовлений течією; $F^v(t)$ – збурюючий вплив, обумовлений в'язкістю водного середовища.

Очевидним є взаємозв'язок між складовими елементами зовнішнього середовища, що утворюють відповідні збурюючі впливи зовнішнього середовища $F(t)$. Це вказує на необхідність детального аналізу та формалізованого опису цих складових. Особливо цікавим є аналіз збурюючих впливів $F(t)$, що діють на судна в акваторії Чорного моря, оскільки Чорне море є особливо важливим районом для транспортних перевезень, а також має важливе стратегічне та військове значення для України.

Аналіз збурюючого впливу, що обумовлений вітром $F^w(t)$. Кожне судно піддається впливу дії вітру. Вітром називається переміщення мас повітря з області високого атмосферного тиску в область з низьким тиском. Вітер характеризується силою або швидкістю і напрямком. Характеристика вітру в залежності від сили наведено в табл. 1 [2, 8, 9, 10].

Відповідно, що керування судном і його маневрені якості змінюються в залежності від напрямку і сили вітру. Протистояння вітру ускладнено не тільки для малих суден, але й для великих. При великій силі вітру судно часто не може протистояти його дії не тільки кермом і роботою гвинта, але воно також не може втриматися на якорі, підійти до причалу або відійти від нього. Зі зміною сили і напрямку вітру змінюється шлях і швидкість судна. Дія вітру на судно залежить від його сили та напрямку, від загальної площі підводної частини, від парусності судна, його осадки і тоннажності [2, 8, 9, 10].

Таблиця 1 – Види вітрів та їх характеристика за 12-бальною шкалою Бофорта

Назва вітру	Швидкість вітру		Ознаки вітру на морі
	м/с	бал	
Штиль	0-0,5	0	Море спокійне, поверхня «дзеркальна»
Тихий	0,6-1,7	1	На поверхні моря помітні невеликі лускоподібні хвилі без «баранчиків»
Легкий	1,8-3,3	2	Утворюються короткі, добре виражені хвилі, гребні яких перекидаються, утворюється склоподібна піна, поверхня води рябить
Слабкий	3,4-5,2	3	Утворюються короткі хвилі, на гребнях помітна склоподібна піна. Зрідка утворюються маленькі білі «баранчики»
Помірний	5,3-7,4	4	Утворюються довгі хвилі, місцями на гребнях хвиль помітні «барашки», що піняться
Свіжий	7,5-9,8	5	Поверхня моря покривається «барашками»
Сильний	9,9-12,4	6	Утворюються гребні великої висоти, на гребнях утворюються «барашки»
Кріпкий	12,5-15,2	7	Хвилі нагромаджуються та утворюють руйнацію, вітер зриває з гребенів білу піну
Дуже кріпкий	15,3-18,2	8	Висота та довжина хвиль помітно збільшується
Шторм	18,3-21,5	9	Хвилі високі, гороподібні з довгими гребнями, що перекидаються
Сильний шторм	21,6-25,1	10	Поверхня моря стає білою від піни, розкати хвиль посилюються та приймають характер поштовхів
Жорсткий шторм	25,2-29	11	Висота хвиль настільки велика, що кораблі, які знаходяться в полі зору час від часу ховаються за ними
Ураган	Більше 29	12	Водяний пил, що зривається з гребенів значно погіршує видимість.

Вітер за своєю структурою неоднорідний. Він може бути *струминним* (ламінарним), коли шари повітря рухаються не змішуючись. Такий рух зазвичай



спостерігається при слабких вітрах. Якщо швидкість вітру перевищує 4 м/с, то шари повітря перемішуються і його рух набуває турбулентного характеру. Чим вища швидкість вітру, тим більші перепади швидкості в окремих точках повітряного потоку і тим більше поривчастим стає вітер, виникають шквали. Вітер, який різко збільшує свою швидкість протягом дуже короткого проміжку часу на тлі слабого вітру чи штилю, називають шквалом.

Шквалистий вітер характерний не тільки частими і різкими коливаннями швидкості, але і сильними окремими поривами тривалістю до декількох хвилин. Найчастіше шквали налітають при проходженні могутніх купчасто-дощових хмар і нерідко супроводжуються грозою і зливами. Швидкість шквального вітру досягає 20 м/с і більше, а в окремих поривах 30-40 м/с. При цьому можуть спостерігатися несподівані повороти вітру до декількох градусів.

Так для південно-східного узбережжя моря і Південного берега Криму характерні слабкі вітри (середньорічна швидкість вітру менша 3 м/с), а в західній та північно-західній частині моря, а також поблизу Керченської протоки спостерігаються більш сильні вітри (середньорічна швидкість вітру більша 4 м/с, а в деяких випадках більша 5 м/с) [4]. Крім того, в грудні та березні спостерігаються північно-східні небезпечні вітри – шторми. Середня тривалість *шторму* сягає 10-30 годин, в деяких випадках – 100 годин і більше. Навесні спостерігаються північно-західні шторми, що супроводжуються похмурою нестійкою погодою. Південні шторми спостерігаються рідше інших. У спекотні дні іноді виникають смерчі. Восени і взимку на морі прориваються циклони, які породжують жорстокі і тривалі шторми із заходу, півдня, іноді з південного сходу. Шторми на Чорному морі спостерігаються 50-60 днів на рік. Для всього басейну добре виражена цілорічна мінливість вітру – його швидкість збільшується від весняно-літнього періоду до осінньо-зимового в 1,2 – 1,5 рази [4].

Різні оцінки просторового розподілу швидкості вітру над Чорним морем приведені в [4] мають спільні риси: найбільшими значеннями відрізняється західна частина моря, зона слабких вітрів характерна для південно-східної частини моря. Локальний максимум швидкості вітру розташований в північно-східній частині моря на південь від Керченської протоки. На заході і на півночі моря переважають вітри північних напрямів, східні і південно-східні вітри характерні для сходу і південного сходу моря. Навесні і влітку в західній частині моря збільшується повторюваність західних, південно-західних і південних вітрів.

Загалом дія вітру в межах курсових кутів 0-110° викликає втрату швидкості судна, а при великих курсових кутах і силі вітру не більше 3-4 балів деяке її збільшення [9, 10].

Аналіз збурюючого впливу обумовленого хвилюванням водного середовища $F^{wa}(t)$. Найбільш суттєвим фактором, що впливає на судно – хвилювання моря. Воно супроводжується дією на корпус значних динамічних навантажень і хитавицею судна. При плаванні на хвилях збільшується опір корпусу корабля і погіршуються умови узгодженої роботи гвинтів та головних двигунів. У результаті знижується швидкість, збільшується навантаження на машини головного руху, підвищується витрата палива і зменшується швидкість судна [9], що призводить до ускладнення процесу динамічного позиціонування судна.

В [9] за походженням хвилі поділяються на вітрові, приливо-відливні, анемобаричні, хвилі землетрусу (цунамі) і корабельні. Зокрема вказано, що найбільш поширеними є вітрові хвилі. Розрізняють три типи хвилювання: вітрове, зибь та змішане. *Вітрове хвилювання* – це хвилювання, що змінюється в часі та знаходиться під безпосереднім впливом вітру на відміну від зибів, що являють собою інерційне хвилювання, чи хвилювання, викликане штормовим вітром, який дме у віддаленому районі. Профіль вітрової хвилі не симетричний. Її підвітряний схил крутіше, ніж



навітряний. На вершинах вітрових хвиль утворюються гребені, верхівки яких під дією вітру «завалюються», утворюючи піну (баранчики), а при сильному вітрі зриваються. Напрямок вітру і напрямком вітрових хвиль у відкритому морі, як правило, збігаються чи різняться на 30-40 °. Розміри вітрових хвиль залежать від швидкості вітру і тривалості його впливу, довжини шляху вітрових потоків над водною поверхнею та глибини даного району (табл. 2).

Таблиця 2 – Залежність параметрів елементів морських хвиль від вітру

Характеристики вітру			Характеристики морських хвиль			
швидкість		довжина розгону, км	тривалість дії, год.	висота хвилі h , м	довжина хвилі λ , м	h/λ
бали	м/с					
4	6	57	4,6	1,1	13	1/12
5	9	134	7,2	2,2	30	1/14
6	11	204	8,9	3,0	45	1/15
7	14	333	11,7	4,6	72	1/15
8	17	509	14,5	6,4	108	1/17
9	20	715	17,3	8,4	149	1/18
10	23	969	20,2	10,7	197	1/19
11	27	1344	24,1	14,0	272	1/19
12	30	1676	27,0	16,8	336	1/20

Хвилювання на Чорному морі [4], як правило, спостерігаються взимку, коли повторюваність висот хвиль становить 2 м і більше та складає 30%. Влітку повторюваність висоти хвиль 2 м і більше та складає 5-13 %, восени та навесні – 15-17 %. В цілому на Чорному морі переважають хвилі висотою менше 2 м. Повторюваність висот хвиль менше 1 м літом становить 55-70 %, в інші періоди року – 27-45%. Повторюваність висот хвиль від 1 до 2 м складає відповідно 24-32 % та 40-43 %. При зимових штормах можуть утворюватися хвилі заввишки до 6-8 м. Напрямок хвиль восени та взимку від північного сходу на північ та схід, навесні та літом – від південного заходу на захід. Режим хвилювання в прибережній зоні дуже мінливий і в значній мірі залежить від місцевих особливостей тієї чи іншої ділянки.

Аналіз збурюючого впливу обумовленого в'язкістю водного середовища $F^v(t)$. В'язкість води обумовлює виникнення сили тертя при русі судна. В'язкість води безпосередньо залежить від температури води.

Температура води [4] на поверхні у відкритій частині Чорного моря взимку становить переважно 8-9 °С, лише на крайньому північному заході і північному сході вона в середньому змінюється від 4 до 0°С і нижче. Навесні температура води повсюди підвищується. У кінці весни середнє значення її зазвичай становить 13-16°С. Влітку температура води на поверхні Чорного моря в середньому становить 19-26°С і досягає свого максимального значення переважно в серпні. На початку осені температура води близька ще до літньої температури, наприкінці осені на більшій частині моря вона знижується до 10-13°С, а на північному заході до 8-4°С.

Аналіз збурюючого впливу, що обумовлений течією $F^t(t)$. Вплив постійної за величиною і напрямком течії на вільній акваторії проявляється в перенесенні судна по напрямку течії і появі кута зносу. Ефективність кермів та ж, що і на вільній воді [1].

Відомо[4], що для Чорного моря характерною є наявність постійної течії, яка являє собою замкнену циркуляцію вод проти годинникової стрілки паралельно узбережжю та охоплює все морське кільце шириною від 37 до 93 км. На відстані 3,5-18,5 км від берега течія більш стійка, середня швидкість складає до 1,7 км/год. Обширні постійні кругові



течії, спрямовані проти годинникової стрілки, спостерігаються також у центральних областях західної і східної частин моря. Середня швидкість цих течій зазвичай становить 0,2-0,9 км/год, лише в центрі менше 0,2 км/год. У північно-західного узбережжя моря (від острова Зміїний до мису Тарханкут) течія в цілому спрямована від мису Тарханкут на північний захід до Гендровської коси, а потім на південний захід до острова Зміїний. Середня швидкість течії становить до 0,9 км/год. Біля узбережжя Кримського півострова (від мису Меганом до мису Тарханкут) течія спочатку прямує від мису Меганом на південний захід і захід до мису Сарич, а потім на північний захід до мису Тарханкут. Середня швидкість цієї течії до 0,9-1,3 км/год, на окремих ділянках 1,7-1,85 км/год. У східного узбережжя моря (від порту Новоросійськ до порту Батумі) течія направлена на північний захід, середня швидкість його до 0,74-1,3 км/год, місцями до 1,7 км/год. У південного узбережжя моря течія направлена в основному на схід, середня швидкість найчастіше складає 0,6-1,3 км/год. У західного узбережжя моря (від мису Еміне до острова Зміїний) течія направлена в цілому на південь, середня швидкість його переважно 0,9-1,3 км/год. Вздовж всього узбережжя у більшості заливів та бухт мають місце кругові течії, спрямовані за годинниковою стрілкою, середня швидкість їх становить від 0,2 і менше км/год до 0,6 км/год. При стійких та сильних вітрах напрямок та швидкість постійних течій змінюються. У окремих місцях швидкість течій може сягати 1,8-5,5 км/год.

З урахуванням вищезазначеного, кожна з виділених підфункцій, що описує збурюючий вплив елементів зовнішнього середовища може бути формалізовано описана сукупністю певних параметрів. Так підфункція, що описує збурюючий вплив обумовлений вітром $F^w(t)$ може бути представлена сукупністю таких параметрів як напрямок L^w , швидкість V^w та тривалість t^w :

$$F^w(t) \rightarrow (L^w; V^w; t^w), \quad (3)$$

де L^w – напрямок дії вітру; V^w – швидкість дії вітру, м/с; t^w – тривалість дії вітру, тобто час протягом якого зберігається певне значення швидкості, год.

Підфункція, що описує збурюючий вплив обумовлений хвилюванням водного середовища $F^{wa}(t)$ може бути представлена сукупністю таких параметрів, як висота хвилі h^{wa} та довжина хвилі λ^{wa} (рис. 2):

$$F^{wa}(t) \rightarrow (h^{wa}; \lambda^{wa}), \quad (4)$$

де h^{wa} – висота хвилі, визначається як вертикальна відстань між вершиною хвилі та наступною за нею «підшовою» (рис. 2); λ^{wa} – довжина хвилі, визначається як горизонтальна відстань між двома однаковими частинами сусідніх хвиль, наприклад, між вершинами (рис. 2).

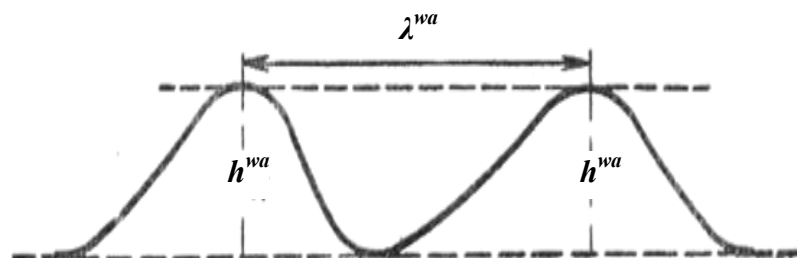


Рисунок 2 – Параметри хвиль

Підфункція, що описує збурюючий вплив обумовлений течією $F^t(t)$ може бути представлена сукупністю таких параметрів, як напрямок L^t та швидкість V^t :

$$F^t(t) \rightarrow (L^t; V^t). \quad (5)$$



Проте враховуючи незмінність течій в Чорному морі та їх відносно невелику швидкість можна вважати, що вони будуть викликати незначні збурення якими при управлінні динамічним позиціонуванням судна середнього розміру можна знехтувати.

Аналогічні висновки можна зробити щодо збурюючих впливів обумовлених в'язкістю водного середовища $F^v(t)$. Вище проведений аналіз змін в'язкості води в Чорному морі вказує на те, що цей показник є постійною величиною протягом тривалого часу, тому збурюючі впливи обумовлені в'язкістю води в Чорному морі при подальших розробках щодо автоматизованого управління позиціонуванням судна можна не враховувати.

Таким чином вираз (2) може бути записаний наступним чином:

$$F(t) \rightarrow \{F^{vw} (L^w; V^w; t^w), F^{wa} (h^{wa}, \lambda^{wa})\}. \quad (6)$$

Як видно із виразу (6) збурюючий вплив на судно при його динамічному позиціонуванні є результатом комплексної взаємодії змінюваних в часі сил вітру та хвилювань моря. Це безперечно вказує на необхідність застосування відповідних засобів динамічного позиціонування спрямованих на подолання цих впливів, шляхом розробки та застосування спеціальних автоматизованих систем управління динамічним позиціонуванням судна.

Висновок. Проведений аналіз та формалізований опис збурюючих впливів навколишнього середовища при динамічному позиціонуванні судна. Цей аналіз може бути використаний як один із елементів математичної моделі динаміки судна із перспективою розробки відповідної автоматизованої системи управління динамічним позиціонуванням судна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Антонов В. А. Теоретические вопросы управления судном : учебное пособие / В. А. Антонов, М. Н. Письменный. – М. : МГУ им. Адм. Г. И. Невельского, 2007. – 78 с.
2. Булатов М. Г. Исследование динамики морских волн в прибрежной зоне по данным радиолокационных наблюдений высокого разрешения / М. Г. Булатов, М. Д. Раев, Е. И. Скворцов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.iki.rssi.ru/earth/articles/sec6_03.pdf
3. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. – Одесса : Фенікс, 2007. – 328 с.
4. Добровольский А. Д. Моря СССР / А. Д. Добровольский, Б. С. Залогин – М. : И-во МГУ, 1982. – 192 с.
5. Єфремова Н. В. Визначення параметрів хитавиці малого судна при підході до судна-партнера на рейдовій стоянці : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.08.01 / Ніна Володимирівна Єфремова. – Одеса, 2001. – 21 с.
6. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года – СПб. : ЗАО ЦНИИМФ, 2002. – 928 с.
7. Международная конвенция по предупреждению столкновения судов в море 1972 года (МППСС–72). – СПб. : ЗАО ЦНИИМФ, 2004. – 118 с.
8. Общие сведения об управляемости судов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://crew-help.com.ua/stati_out.php?id=95&tema=us
9. Проктор Я. Плавание под парусом. Ветер, волнения и течения / пер. с англ. – Л. : Гидрометеиздат, 1981. – 109 с.
10. Репетин Л. Н. Режим ветра над побережьем и шельфом северо-восточной части Черного моря / Л. Н. Репетин, В. Н. Белокопытов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/ekbez/2009_17/08rlneki.pdf



Соколова Н.А., Смольянов А.П. АНАЛИЗ И ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СУДНО ПРИ ЕГО ДИНАМИЧЕСКОМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИИ

В статье представлен процесс, который лежит в основе перевода судна из начального неориентированного положения в конечное ориентированное положение путем выполнения определенной последовательности движений, при которых изменяются линейные и угловые координаты, которые определяют положение судна относительно абсолютной системы координат. Проведен анализ возмущающих воздействий внешней среды на судно при его динамическом позиционировании и представлено их формализованное описание для структурного представления состава линейных и угловых координат. Определено количество этапов процесса автоматического позиционирования судна для построения математической модели динамики судна.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, динамическое позиционирование, математическая модель, возмущающее воздействие, волнение моря, ветровые волны.

Sokolova N.A., Smoljanov A.P. ANALYSIS AND FORMALIZED DESCRIPTION OF DISSIPATIVE INFLUENCES UPON A SHIP WHILE ITS DYNAMIC POSITIONING

The process of a ship transition from an initial disoriented position in a given finally oriented position by means of keeping to a certain consequence of orientating motions, that change the linear and angle coordinates, which define the ship's position relatively to the absolute system of coordinates is introduced in the article. Analysis of dissipative influences of environment upon a ship while its dynamic positioning is carried out. The formal description for structured introduction of the linear and angle coordinates is considered. The quantity of stages of the automatic positioning of a ship process for a mathematical ship's model creation is defined.

Keywords: automated system of management, dynamic positioning, mathematical model, dissipative influence, sea agitation, windy waves.



ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНИВАНИЯ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ходаков В.Е., Соколова Н.А., Крючковский В.В.

Херсонский национальный технический университет

Рассмотрены задачи оценивания региональных социально-экономических систем и формирования обобщенных критериев оценки. Изложены компоненты оценивания, сформированы показатели (индикаторы) оценивания и требования, которым должны удовлетворять данные наборы индикаторов

Ключевые слова: регион, оценивание, интегральный критерий, частный показатель, свертывание показателей.

Введение. В 1992 году на конференции ООН по окружающей среде в Рио-де-Жанейро была принята концепция устойчивого развития общества, которая должна прийти на смену концепции экономического роста [1]. Особенностью этой конференции является то, что она учитывает не только экономические факторы, а и временные, социальные, экологические, географические, культурологические и др. Тем самым было подчеркнуто, что решения, основанные лишь на экономических факторах, способны в ближайшее время стать причиной сложных проблем в социальной, демографической и экологической сферах.

Основным содержанием этой концепции, определяющей развитие социально-ориентированных обществ, становится учет более широкого круга факторов, показателей, чем ранее, которые характеризуют уровень социальных, экономических, экологических, географических, природно-климатических, культурологических процессов.

Устойчивость развития общества во многом зависит от устойчивости развития стран и их составляющих: территорий и регионов, в силу чего важное значение приобретают вопросы реализации стратегии развития социально-экономических систем, регионов в эпоху перехода общества к концепции устойчивого развития.

Целью работы является описание подходов в идентификации (оценивании) региональных объектов как социально-экономических систем и формирование требований к наборам показателей – индикаторов, характеризующих объект исследования.

Основное содержание. В данной работе под понятием «регион» понимается административно-территориальная единица уровня субъекта государства. Постановка вопроса совершенствования информационного обеспечения управления регионом сама по себе достаточно традиционна, но в современных условиях она приобретает особую актуальность, что обусловлено целым рядом факторов. Прежде всего, повышением роли регионов в развитии национальной экономики, переносом центра тяжести в решении многих важнейших проблем экономического развития на уровень регионов, местного самоуправления.

Процессы развития управления социально-экономическим измерением регионов весьма динамичны, протекают достаточно противоречиво, что обуславливает необходимость постоянной информационной поддержки управленческих решений. Сама по себе проблема информатизации всех сфер общественной жизни, в том числе, конечно, и регионального управления, приобретает в определенном смысле геополитическое значение. Без эффективного решения этой проблемы невозможно войти равноправным партнером в нынешнее мировое сообщество.

В условиях нестабильного социально-экономического развития страны встает задача оценивания – диагностики регионов, выявления депрессивных и проблемных районов и определения наиболее эффективных форм и методов государственной поддержки управления территориями.



В связи с этим вопросы оценки, традиционные для научных исследований по изучению типов территориальных единиц разного ранга, приобретают особый интерес и практическую «ценность» в прямом смысле слова.

Оценивание – идентификация, сопоставление оцениваемого объекта с его идеализированным образом (образцом, эталоном, стандартом, нормой). Неотъемлемыми компонентами оценивания являются:

- объект с конкретными свойствами-характеристиками;
- «базисный» объект-эталон с идеальными свойствами-характеристиками;
- связь между ними – предмет оценивания;
- сравнение и структура оценивания.

Оценивается социально-экономическая система, т.е. диагностируется состояние региона. В качестве обобщенного критерия оценки могут использоваться: уровень развития региона, инвестиционная привлекательность, дискомфортность и др. Определение обобщенного критерия ориентирует на соответствующий отбор оцениваемых позиций и показателей их характеризующих.

Характеристика состояния объекта-региона определяется набором индикаторов (нормированных показателей – душевых, удельных и пр.). Оптимальный перечень индикаторов (показателей) должен соответствовать следующему:

- содержать не бесконечное, а ограниченное количество индикаторов (показателей);
- отражать все основные состояния и свойства социально-экономической системы;
- быть репрезентативным – способным отражать их полно и адекватно, в том числе в пространстве (учет объективных условий регионов), и во времени (фиксация не только моментного среза с использованием статических индикаторов, но и динамики ситуации с помощью индексов);
- быть методически корректным – со значениями индикаторов, упорядоченными по одному вектору (например, «чем больше – тем лучше», но с учетом смысла индикаторов, например, по безработице, бедности, преступности и т.п.);
- быть структурно выдержанным – без сильных диспропорций в количестве и качестве индикаторов по выбранным позициям, что может быть достигнуто с помощью агрегирования (формирования составных индикаторов).

Задача определения необходимого набора показателей, характеризующих социально-экономические системы, регионы, является чрезвычайно сложной и важной. От этого зависит качество диагностирования (оценивания) состояний регионов и «качество» «вырабатываемых», принимаемых решений управления объектом-регионом.

Исходной информацией для получения показателей, индикаторов являются данные статистических агентств Государственного комитета статистики Украины, статистических сборников, комитетов и департаментов государственной власти, Министерства Экономики Украины, Национальной комиссии регулирования электроэнергетики Украины, Государственного департамента интеллектуальной собственности, экологических паспортов регионов, региональных докладов о состоянии окружающей среды, данных Министерства Украины по чрезвычайным ситуациям и других источников.

В то же время действующая система показателей, методология их сбора и обработки мало приспособлены для регионального уровня. Применяемые методы наблюдения, досчеты и дорасчеты, корректирующие коэффициенты, не дают полной и объективной оценки происходящих в реальном секторе экономики процессов и явлений на уровне региона.

Всё это множество факторов, показателей являются частными показателями. Текущее состояние всякой социально-экономической системы оценивается, как правило, достаточно большим количеством частных показателей $\{x_i\}_{i=1}^n$, каждый из которых отражает одну из сторон (сущностей) рассматриваемой системы. Это и есть



многофакторное оценивание. Большая размерность набора показателей является существенным препятствием как для изучения динамики такой системы, так и сравнения между собой отдельных систем. Поэтому, естественным шагом в изучении таких систем является понижение их размерности, например, путем поступательной свертки частных показателей. Это не что иное, как переход к интегральной оценке объектов-регионов (рис. 1). В простейшем случае это замена определенного набора параметров $\{x_i\}_{i=1}^n$ единым более обобщенным показателем $I(\{x_i\}_{i=1}^n)$. Этот показатель принято называть индексом системы показателей $\{x_i\}_{i=1}^n$. При таком подходе к понижению размерности необходимо исключить потери информации о рассматриваемой системе и поэтому в основе построения всякого индекса лежит некая «разумная» процедура усреднений, например, вычисление среднего арифметического, среднего квадратичного, среднего геометрического и т.п.



Рисунок 1 – Этапность организации интегральной оценки объектов-регионов

Переход к более обобщенной интегральной оценке позволяет комплексно рассмотреть состояние региона, выявить положительные и отрицательные стороны его развития, провести сравнительный межрегиональный анализ. В рассматриваемой последовательности действий следует выделить такие этапы: формирование системы показателей, нормирование показателей, объединение значений показателей в интегральную оценку, типологизация регионов, ранжирование регионов по уровню социально-экономического развития регионов (рис. 1). Обобщенно все показатели делятся



на показатели, максимизирующие социально-экономическое состояние региона, так называемые показатели-стимуляторы, и минимизирующие – дестимуляторы. На основании этого происходит выбор способа расчета интегрального показателя.

Всякий набор параметров $X = \{x_i\}_{i=1}^n$ можно трактовать как вектор в n -мерном евклидовом пространстве. Тогда всякий индекс $I(\{x_i\}_{i=1}^n)$ есть функционал на линейном пространстве размерности n :

$$I(\{x_i\}_{i=1}^n) = I(X), I: R_n \rightarrow R_1.$$

Наиболее употребительными (как наиболее удобными с вычислительной точки зрения) являются индексы, построенные на основании линейных процедур усреднения: вычисления среднего арифметического

$$I(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

или более общо – взвешенного среднего

$$I_p(X) = \sum_{i=1}^n p_i x_i, \quad (1a)$$

где $P = \{p_i\}_{i=1}^n, 0 \leq p_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n$ – заданный набор весовых коэффициентов. Следующий употребительный класс индексов строится на основе квадратичных процедур усреднения (квадратичных функционалов): вычисления среднего квадратичного (евклидовой нормы вектора)

$$J(X) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} = \frac{1}{\sqrt{n}} \|X\|,$$

либо более общо – вычисления среднеквадратичного отношения вектора X от некоторого заданного оптимального вектора $S = \{s_i\}_{i=1}^n$

$$D(X) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - s_i)^2} = \frac{1}{\sqrt{n}} \|X - S\|.$$

В литературе нашла своё отражение несколько подходов к построению интегрального показателя. Эти подходы различаются как по методам построения единого показателя, так и относительно выбора составляющих – системы показателей [2, 3, 4, 5, 6].

В то же время в публикациях, посвященных структуре и вычислительным аспектам индексов РПСЭС какие-либо обоснования выбора той или иной процедуры усреднения при вычислении индексов, как правило, отсутствуют [2-6]. Известные обоснования выбора конкретной процедуры усреднения проводятся либо на уровне «правдоподобных рассуждений», либо на уровне «здравого смысла». Анализ показывает, что наиболее употребительные процедуры усреднения и порожденные ими индексы имеют простую геометрическую интерпретацию и связаны между собой квадратичной зависимостью.

Не умаляя общности, можно полагать, что все допустимые состояния $X = \{x_i\}_{i=1}^n$ исследуемой социально-экономической системы расположены в кубе

$$K = X = \{x_i\}_{i=1}^n \in R_n : 0 \leq x_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n.$$

Этого всегда можно достичь соответствующей нормировкой допустимых параметров $\{x_i\}_{i=1}^n$. Пусть далее S – вектор в кубе K , все компоненты которого равны единице $S = (1, 1, \dots, 1)$. Пользуясь терминологией, предложенной М. З. Згуровским [7], этот



вектор будем называть оптимальным вектором. Его оптимальность состоит в том, что он больше (в смысле естественного отношения порядка на пространстве R_n) любого другого вектора из куба K . Заметим, что простейший линейный индекс (1) с точностью до множителя $\frac{1}{n}$ совпадает со скалярным произведением текущего вектора X и оптимального вектора S :

$$(X \cdot S) = \sum_{i=1}^n x_i s_i = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot 1) = \sum_{i=1}^n x_i = n \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = n \cdot I(X).$$

Поскольку

$$(X \cdot S) = \|X\| \cdot \|S\| \cos \varphi,$$

где φ – угол между векторами X и S , при этом произведение $\|X\| \cdot \cos \varphi$ есть величина проекции вектора X на направление вектора S : $\|X\| \cdot \cos \varphi = np_S X$, то

$$I(X) = \frac{1}{n} (X \cdot S) = \frac{1}{n} \|X\| \cdot \|S\| \cos \varphi = \frac{1}{n} np_S X \cdot \|S\| = \frac{1}{n} np_S X \cdot \sqrt{n} = \frac{1}{\sqrt{n}} np_S X. \quad (2)$$

тем самым, простейший линейный индекс $I(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ с точностью до множителя $\frac{1}{\sqrt{n}}$ совпадает с величиной проекции текущего вектора X на направление оптимального вектора S . Снова, используя терминологию М. З. Згуровского [7], угол φ между векторами X и S называют углом нормализации. Заметим, что поскольку $J(X) = \frac{1}{\sqrt{n}} \|X\|$, то индексы $I(X)$ и $J(X)$ связаны соотношением

$$I(X) = \frac{1}{n} \|X\| \cdot \|S\| \cos \varphi = J(X) \cos \varphi. \quad (3)$$

Представления (2) и (3) для линейного индекса $I(X)$ позволяют ввести в рассмотрение еще один естественный индекс – величину эвклидова расстояния от точки X до прямой линии, порожденной оптимальным вектором S

$$\Gamma(X) = \frac{1}{\sqrt{n}} \inf \{ \|X - \lambda S\| : \lambda \in R_1 \}. \quad (4)$$

Ясно, что нижняя грань в (4) достигается в некоторой точке M – основании перпендикуляра, опущенного из точки X на прямую, порожденную вектором S . Соответствующее этой точке значение λ доставляет минимум числовой функции

$$f_X(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{n}} \|X - \lambda S\| = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \lambda)^2}.$$

Приравняв к нулю производную этой функции

$$f'_X(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{2(\sum_{i=1}^n x_i - \lambda \cdot n)}{2\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \lambda)^2}},$$

найдем оптимальное значение λ



$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = I(X),$$

а с ним и явное представление индекса $\Gamma(X)$

$$\Gamma(X) = \frac{1}{\sqrt{n}} \left\| X - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i S \right\| = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - I(X))^2}.$$

Тем самым индекс $\Gamma(X)$ имеет простой смысл: его значение в каждой точке X есть среднеквадратичное отклонение компонента вектора X от их среднего арифметического.

В треугольнике OSX имеем следующие представления длин его линейных элементов через рассматриваемые индексы

$$\|OX\| = \sqrt{n}J(X), \|XS\| = \sqrt{n}D(X), \|OM\| = \sqrt{n}I(X), \|MX\| = \sqrt{n}\Gamma(X).$$

Теперь из этого треугольника несложно получить три связи между четырьмя рассмотренными индексами (рис. 2):

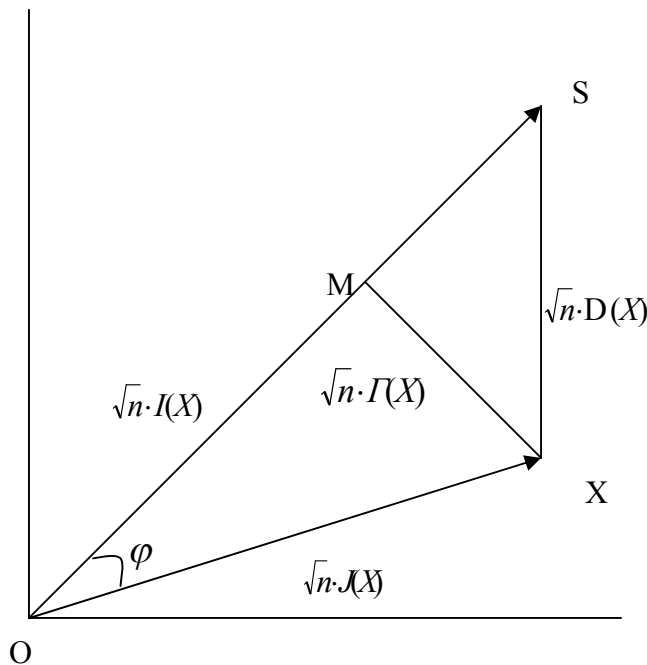


Рисунок 2 – Связь между четырьмя рассмотренными индексами

$$\begin{aligned} (\sqrt{n}D(X))^2 &= \|XS\|^2 = \|X - S\|^2 = ((X - S) \cdot (X - S)) = \|X\|^2 - 2(X \cdot S) + \|S\|^2 = \\ &= (\sqrt{n}J(X))^2 - 2nI(X) + (\sqrt{n})^2, \end{aligned}$$

откуда

$$D^2(X) = J^2(X) - 2 \cdot I(X) + 1. \tag{5}$$

$$\|OX\|^2 = \|OM\|^2 + \|MX\|^2, (\sqrt{n}J(X))^2 = (\sqrt{n}I(X))^2 + (\sqrt{n}\Gamma(X))^2.$$

Откуда

$$J^2(X) = I^2(X) + \Gamma^2(X) \tag{6}$$



$$\|SX\|^2 = \|MX\|^2 + \|MS\|^2,$$

$$(\sqrt{n}D(X))^2 = (\sqrt{n}\Gamma(X))^2 + (\|OS\| - \|OM\|)^2 = (\sqrt{n}\Gamma(X))^2 + (\sqrt{n} - \sqrt{n}I(X))^2.$$

Откуда

$$D^2(X) = \Gamma^2(X) + (1 - I(X))^2. \tag{7}$$

Равенства (5)-(7) означают, что квадратичные индексы не несут в себе какой-либо новой информации о состоянии социально-экономической системы по сравнению с простейшим линейным индексом $I(X)$: они представляют собой квадратичные функции от $I(X)$ и координат вектора X .

Одним из основных назначений всякого индекса социально-экономической системы является рейтинговое оценивание заданного набора состояний $\{X_j\}_{j=1}^m$ такой системы. Всякий функционал $I: R_n \rightarrow R_1$ превращает пространство R_n во вполне упорядоченное множество с помощью соглашения: $X \succ Y$, если $I(X) > I(Y)$ для любой пары векторов $X, Y \in R_n$. Отношение полного порядка, порожденное простейшим линейным индексом (1), имеет простой смысл: для любой пары векторов $X, Y \in R_n$ лучшим объявляется тот вектор, чья проекция на направление оптимального вектора больше $I(X) > I(Y)$, или эквивалентно, тот вектор, который менее удален от направления оптимального вектора $\Gamma(X) < \Gamma(Y)$.

Рассмотрим более детально «разумность» процедуры построения линейных индексов (1)-(1a). Неоднократно отмечалось, что построение индекса как среднего арифметического значений параметров (1) не учитывает объективно существующие различия степени важности отдельных параметров x_i . Например, ясно, что такой показатель, как ВВП на душу населения, должен вносить больший вклад в суммарное значение индекса, чем, скажем, такой показатель, как площадь дорог с твердым покрытием, отнесенная к единице площади в сельской местности. Эти различия степени важности отдельных параметров x_i могут быть учтены назначением каждому из параметров x_i соответствующего весового коэффициента, то есть построение линейного индекса на основании вычисления взвешенного среднего $I_p(X)$ (1a). При этом возникает проблема «разумного» выбора весовых коэффициентов $\{p_i\}_{i=1}^n$.

Подобно тому, как индекс $I(X)$ с точностью до множителя есть скалярное произведение текущего вектора $X = \{x_i\}_{i=1}^n$ и оптимального вектора $S = (1, 1, \dots, 1)$, обобщенный линейный индекс $I_p(X)$ в точности представляет собой скалярное произведение текущего вектора X и вектора весовых коэффициентов $P = \{p_i\}_{i=1}^n, 0 \leq p_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n$. Тем самым, проблема «разумного» выбора весовых коэффициентов есть проблема выбора в каком-то смысле оптимального вектора $P = \{p_i\}_{i=1}^n, 0 \leq p_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n$. Если оптимальность вектора понимать в смысле естественного порядка на пространстве R_n , то в кубе K имеется единственный оптимальный в этом смысле вектор – это вектор S . Поэтому в практических приложениях выбор «оптимального» вектора P осуществляется с помощью системы экспертных оценок [8], что вносит элемент субъективизма как в значение самого индекса $I_p(X)$, так и полученных на его основе заключений о текущем состоянии объекта-региона.

При этом, назначая компоненты оптимального с его точки зрения вектора весовых коэффициентов $P = \{p_i\}_{i=1}^n, 0 \leq p_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n$, эксперт руководствуется не только своим



опытом и знаниями об общей структуре допустимых состояний социально-экономической системы, но учитывает структуру предложенного ему к анализу набора состояний $\{X_j\}_{j=1}^m$, имея в виду в конечном итоге рейтинговое оценивание этого набора с помощью построенного индекса. То есть, для эксперта понятие оптимальности вектора весовых коэффициентов носит не глобальный характер, а привязано к заданному набору состояний $\{X_j\}_{j=1}^m$.

Но всякий набор векторов $\{X_j\}_{j=1}^m \in R_n$ имеет равновесную точку – центр тяжести этой системы векторов. Вектор пространства R_n , отвечающий этой точке, и следует считать естественным оптимальным вектором для заданного набора состояний $\{X_j\}_{j=1}^m$ региона – социально-экономической системы, поскольку важность равновесных состояний экономических систем хорошо известна. Напомним, что если задана система точек $\{X_j\}_{j=1}^m \in R_n$ и в каждой из точек X_j сосредоточена масса M_j , то центр тяжести такой системы определяется равенством

$$X_0 = \frac{\sum_{j=1}^m M_j X_j}{\sum_{j=1}^m M_j}. \quad (8)$$

Заметим, что для оптимального в смысле естественного порядка на пространстве R_n вектора $S = (1,1,\dots,1) = \sum_{j=1}^n e_j$ вектор $S_0 = \frac{1}{n}S$ является центром тяжести системы ортов $\{e_j\}_{j=1}^n$ естественного базиса эвклидова пространства, если полагать, что в каждом орте сосредоточена единичная масса. Кроме того, вектор S_0 является точкой равновесия Нэша для замкнутой выпуклой оболочки ортов $C = \text{conv}(\{e_i\}_{i=1}^n)$: для любого вектора $\{X_i\}_{i=1}^m \in C$ по меньшей мере одна из его координат не превышает соответствующей координаты вектора S_0 ($x_i \leq 1/n$).

Будем полагать, что в каждой точке из заданного набора состояний $\{X_i\}_{i=1}^m \in K$ сосредоточена единичная масса и пусть

$$X_0 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m X_j$$

– центр тяжести соответствующей системы. Тогда каждая компонента вектора X_0 представляет собой среднее арифметическое значений соответствующей компоненты векторов $\{X_i\}_{i=1}^m$:

$$x_{0,i} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{i,j}, i = 1, 2, \dots, n, X_j = \{x_{i,j}\}_{i=1}^n, j = 1, 2, \dots, m.,$$

Обозначим

$$M_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{j,i}, i = 1, 2, \dots, n, M = \sum_{i=1}^n M_i.$$



Пусть далее $p_i = \frac{M_i}{M}, i = 1, 2, \dots, n$ и пусть $P = \{p_i\}_{i=1}^n$. Ясно, что $0 \leq p_i \leq 1$ для любого $i = 1, 2, \dots, n$ и $\sum_{i=1}^n p_i = 1$. Тогда по построению вектор весовых коэффициентов P лишь множителем $\frac{1}{M}$ отличается от центра тяжести системы векторов $\{X_j\}_{j=1}^m$:

$$P = \frac{1}{M} \cdot X_0. \tag{9}$$

P – точка пересечения прямой λX_0 с замкнутой выпуклой оболочкой ортов $C = \text{conv}(\{e_i\}_{i=1}^n)$. Заметим, что сам вектор весовых коэффициентов P можно трактовать как центр тяжести системы ортов, если полагать, что в каждом орте e_i сосредоточена масса M_i (8).

В силу самосопряженности евклидова пространства каждый непрерывный линейный функционал f на нем можно трактовать как вектор самого пространства $X_f = \{f_i\}_{i=1}^n \in R_n$, а действие этого функционала на произвольный элемент $X = \{x_i\}_{i=1}^n \in R_n$ сводится к вычислению скалярного произведения векторов X_f и X :

$$f(X) = (X_f \cdot X) = \sum_{i=1}^n f_i x_i.$$

Применительно к индексам социально-экономических систем это означает, что каждый линейный индекс $I(X)$ порождается некоторым «оптимальным» вектором $S = \{s_i\}_{i=1}^n$ и его значение в каждой точке $X \in R_n$ с точностью до множителя совпадает со скалярным произведением векторов S и X $I(X) = \sum_{i=1}^n s_i x_i = (S \cdot X)$. При этом

$$I(X) = \sum_{i=1}^n s_i x_i = (S \cdot X).$$

всегда можно считать (пронормировав вектор S на величину $\sum_{i=1}^n s_i$), что $\sum_{i=1}^n s_i = 1$, то есть,

что оптимальный вектор S лежит в замкнутой выпуклой оболочке ортов $S \in C = \text{conv}(\{e_i\}_{i=1}^n)$. Следовательно, всякий линейный индекс может быть вычислен с помощью процедуры взвешенного среднего $I_p(X)$ (1a) для некоторого набора весовых коэффициентов $P = \{p_i\}_{i=1}^n, 0 \leq p_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n$.

При этом среди всех таких индексов наилучшим является индекс, построенный на основе центра тяжести заданной системы состояний $\{X_j\}_{j=1}^m \in K$ (9), поскольку он единственный отвечает равновесному состоянию этой системы.

На данный момент для систем данного класса в качестве более общих интегральных показателей ряд исследователей используют на практике индекс устойчивого развития или индекс инвестиционной привлекательности [5, 6, 9].

Схемы получения этих интегральных индексов носят слабо аргументированный характер и используют различное количество первичных показателей: в первом случае – 24, во втором – 74, что вызывает определенные сомнения в достоверности конечных результатов.

Таким образом, задача определения разумного количества показателей, полно характеризующих состояние и поведение региона, является важной составляющей в системах управления регионом.

Вывод. Использование подходов и методов получения социально-экономических индексов, интегральных показателей, методов проведения оценивания и получения оценки уровня регионального развития расширяет возможности разработки эффективных адекватных механизмов мониторингового исследования регионов, что



способствует повышению уровня социально-экономического развития регионов. Это может также служить побудительным мотивом активизации работ по созданию автоматизированных систем управления регионами, а следовательно, в конечном счете, и к повышению качества жизни населения, а так же к смягчению региональных контрастов, подтягиванию депрессивных и отсталых регионов до среднего уровня. Кроме того, использование изложенного подхода позволит создавать системы поддержки принятия решений управления регионами, которые смогут реализовывать новые идеи в диагностировании региональных процессов – многофакторном оценивании с целью повышения эффективности их функционирования и развития.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Згуровський М. З. Сталий розвиток у глобальному і регіональному вимірах / М. З. Згуровський – К. : НТУ «КПІ», 2006. – 83 с.
2. Зайцева Л. М. Методологія комплексної оцінки рівня соціально-економічного розвитку області та її адміністративно-територіальних одиниць / Л. М. Зайцева, С. М. Серьогін, В. О. Федюшичев. – Дніпропетровськ : ДРІДУ НАДУ, 2003. – 132 с.
3. Бандур С. І. Сучасна регіональна соціально-економічна політика держави: теорія, методологія, практика / С. І. Бандур, Т. А. Заєць, Л. С. Терон – К. : РВПС Укр. НАН Укр., 2002. – 250 с.
4. Миронова Т. Л. Социально-экономическое развитие региона: диагностика и территориальное планирование / Т. Л. Миронова – Симферополь : КРП «Крымучпедгиз», 2008. – 240 с.
5. Побурко Я. О. Моніторингові оцінювання складних соціально-економічних явищ розвитку регіону / Я. О. Побурко – Львів : Інститут регіональних досліджень, 2006. – 306 с.
6. Волынский Г. В. О факторах, определяющих инвестиционный климат (инвестиционную привлекательность) / Г. В. Волынский, Ю. И. Горбачева // Бизнес-Информ. – 2007. – № 7 – С 45-46.
7. Згуровський М. З. Роль инженерной науки и практики в устойчивом развитии общества / М. З. Згуровський, Г. А. Статюха // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2007. – № 1 – С. 19-38.
8. Крючковский В. В. Интроспективный анализ. Методы и средства экспертного оценивания : монография. / [В. В. Крючковский, Э. Г. Петров, Н. А. Соколова, В. Е. Ходаков]. – Херсон : Гринь Д.С., 2011. – 168 с.
9. Ходаков В. Е. Модели оценивания состояния территориально-производственных социально-экономических систем / В. Е. Ходаков, Н. А. Соколова, Д. В. Хапов // Проблемы информационных технологий. – 2012. – № 1 (11). – С. 6-11.

Ходаков В.Е., Соколова Н.А., Крючковський В.В. ВИБІР ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

Розглядаються задачі оцінювання регіональних соціально-економічних систем та формуються загальні критерії оцінки. Викладено компоненти оцінювання, наведено показники (індикатори) оцінювання та вимоги, яким повинні задовольняти набори індикаторів.

Ключові слова: регіон, оцінювання, загальний критерій, частковий показник, згортка показників

Hodakov V.E., Sokolova N.A., Kryuchkovskyy V.V. SELECTION OF ASSESSMENT OF SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

Problems of estimation of regional social and economic systems and formation of the generalized criteria of an assessment are considered. Estimation components are stated, indicators of estimation and the requirement with which have to satisfy these sets of indicators are created

Keywords: region, estimation, integrated criterion, private indicator, folding of indicators.



ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОДІАЛІЗНОГО ПРОЦЕСУ ОПРІСНЕННЯ ТА ВИБІР МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Шевченко В.В., Філіпчук О.М., Покорний В.В.

Херсонська філія Національного університету кораблебудування

На підставі теоретичного аналізу електродіалізного процесу опріснення води запропоновано математичну модель масопереносу в електродіалізному осередку опріснювача з урахуванням прийнятих припущень.

Ключові слова: електродіаліз, масоперенос, електродіалізний чарунок, опріснення, математична модель

Вступ. Серед перспективних ресурсо- і енергозберігаючих технологій мембранній належить особливе місце серед інших методів опріснення води і є частиною комплексної екологічної програми України.

Одним з прогресивних напрямів застосування мембранної технології як у стаціонарній практиці, так і на морських судах є електродіалізний метод опріснення водних розчинів з високою концентрацією розчинених солей, що властиво для морської води.

У техніко-економічному відношенні електродіаліз відрізняється від інших методів опріснення води рядом переваг: відсутність фазових перетворень води, і як наслідок великих втрат теплової енергії; здатність високого відновлення, тобто великий вихід діалізату (діліуату) в порівнянні з розсолон; технологічний процес протікає безперервно і може бути автоматизований; глибина знесолення води легко піддається регулюванню і не вимагає додаткової мінералізації; здатність до обробки води з великою кількістю солей, ніж зворотний осмос; низьке споживання хімічних реактивів для попередньої підготовки вихідної води і відмовою їх використання для регенерації смол в іонообмінній технології. У електродіалізних опріснювальних установках (ЕОУ) потрібно витратити енергію на створення електростатичного поля і прокачування робочого розчину через електродіалізний осередок, тому втрати електроенергії на опріснення води електродіалізом в залежать від солоності опріснювальної води [1, 2].

Постановка задачі. Процес електродіалізного опріснення здійснюється в багатокамерних апаратах фільтр – пресового типу, ідея якого була висунута авторами [3, 4] і з моменту отримання штучних іонообмінних селективних мембран, ЕОУ стали активно впроваджуватися в практику.

Метою дослідження є інтенсифікація процесу масопереносу в електродіалізному осередку і на основі здобутих результатів створити високоефективний модуль, за допомогою якого можливо нарощувати виробництво прісної води.

Процес масопереносу в електродіалізному осередку (рис.1), який є основою багатокамерного ЕОУ, протікає в такій послідовності: доставка (перенесення) іонів до межі розділу рідка фаза – іонітова мембрана – проходження іонів крізь іонітову мембрану – відповідно іонообмінний процес, відвід іонів від поверхні мембрани в об'єм розчину.

Всі стадії – це стадії масопереносу крім іонної реакції, яка протікає дуже швидко. При цьому лімітуючою стадією в електродіалізному осередку буде стадія масопереносу на межі поділу фаз, яка надає домінуючий вплив на швидкість електродіалізного процесу.

Масоперенос заряджених частинок i -го сорту в електродіалізному осередку буде визначатися щільністю струму j_i , який складається з дифузійного потоку – j_d , електричного або міграційного потоку – j_m і переміщення потоку викликаного конвекцією – j_k [5].



$$\vec{j} = \sum_i \vec{j}_i = -D_i \text{grad} C_i - F u_i C_i z_i \text{grad} \varphi + C_i \vec{v}, \quad (1)$$

де u_i – рухливість іона; φ – електростатичний потенціал; z_i – заряд іонів; C_i – концентрація розчинених солей.

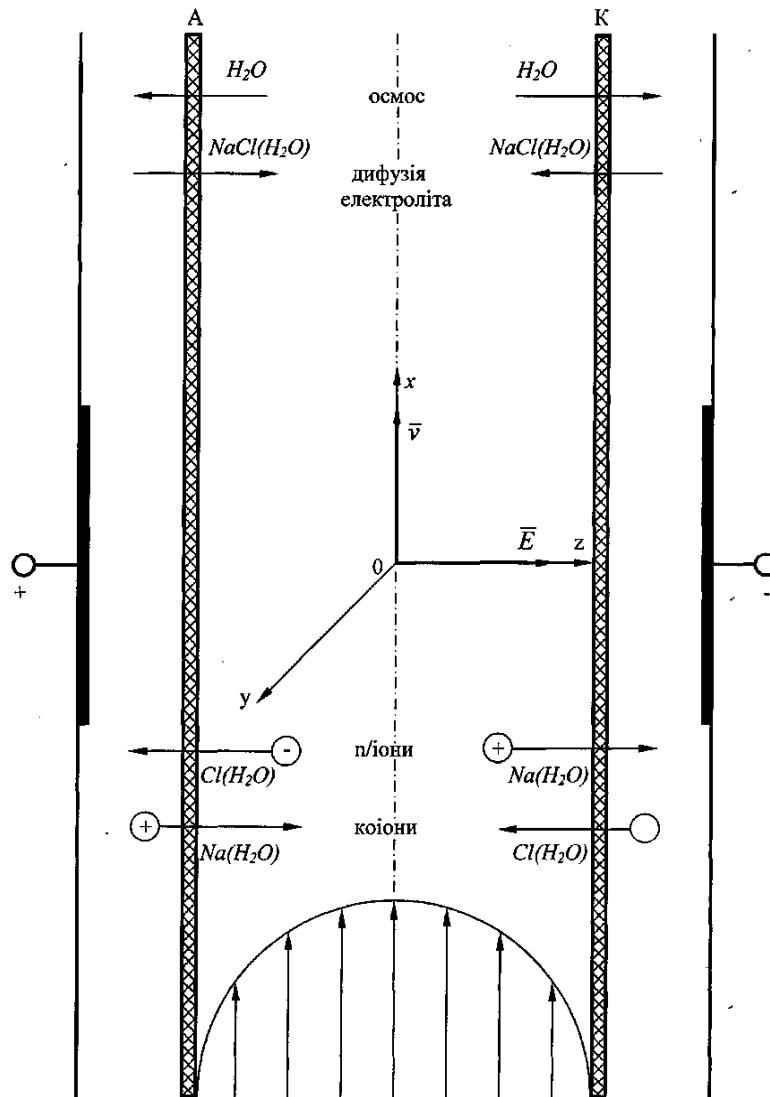


Рисунок 1 – Механізм масопереносу в електродіалізованому осередку

Напруженість електричного поля пов'язано з електростатичним потенціалом через рівняння

$$\vec{E} = -\text{grad} \varphi.$$

Використовуючи співвідношення Нерста – Ейнштейна

$$D_i = RT u_i,$$

рівняння (1) записується в наступному вигляді

$$\vec{j} = -D_i \left(\text{grad} C_i - \frac{F u_i C_i z_i}{RT} \text{grad} \varphi \right) + C_i \vec{v}. \quad (2)$$

Рівняння (2) при $\vec{v} = 0$ є рівнянням Нерста-Планка, яке доповнене відповідними крайовими або початковими умовами дає замкнутий опис процесу масопереносу в



електродіалізму осередку. Якщо враховувати перемішування розчину, обумовленого конвекцією, то до рівняння (2) приєднується рівняння Нав'є-Стокса [6].

Рішення системи рівнянь описують процес масопереносу в електродіалізному осередку в загальному вигляді являє складну математичну задачу. Рішення задачі можна спростити, якщо прийняти ряд припущень, які характерні для електродіалізного процесу.

Враховуючи, що рівняння (2) розглядає незалежне перенесення іонів під дією дифузії, міграції та конвективного перемішування розчину, то при математичному описі електродіалізного процесу рівняння Нав'є-Стокса можна опустити враховуючи, що процес електродіалізу характеризується низькими числами Рейнольдса.

У електродіалізному осередку одночасно протікає декілька процесів переносу (рис. 1), але в розрахунках звичайно враховують тільки масоперенос протиіонів [7].

З урахуванням розглянутих припущень, стаціонарний процес масопереносу заряджених частинок через межу розчин-мембрана, звичайно записується рівнянням Нерста-Планка [8]:

$$\begin{cases} \bar{j}_A = -D_A \left(\text{grad} C_A + \frac{z_A C_A F}{RT} \text{grad} \varphi \right); \\ \bar{j}_B = -D_B \left(\text{grad} C_B + \frac{z_B C_B F}{RT} \text{grad} \varphi \right); \\ z_A \bar{j}_A + z_B \bar{j}_B = 0; \\ z_A \text{grad} C_A + z_B \bar{j}_B = 0, \end{cases} \quad (3)$$

тобто розглядається випадок одночасної дифузії протиіонів сорту z_a і z_b .

Рішення рівняння Нерста-Планка (3) призводить до лінійного градієнту концентрації в суміжній області [9], рис. 2.

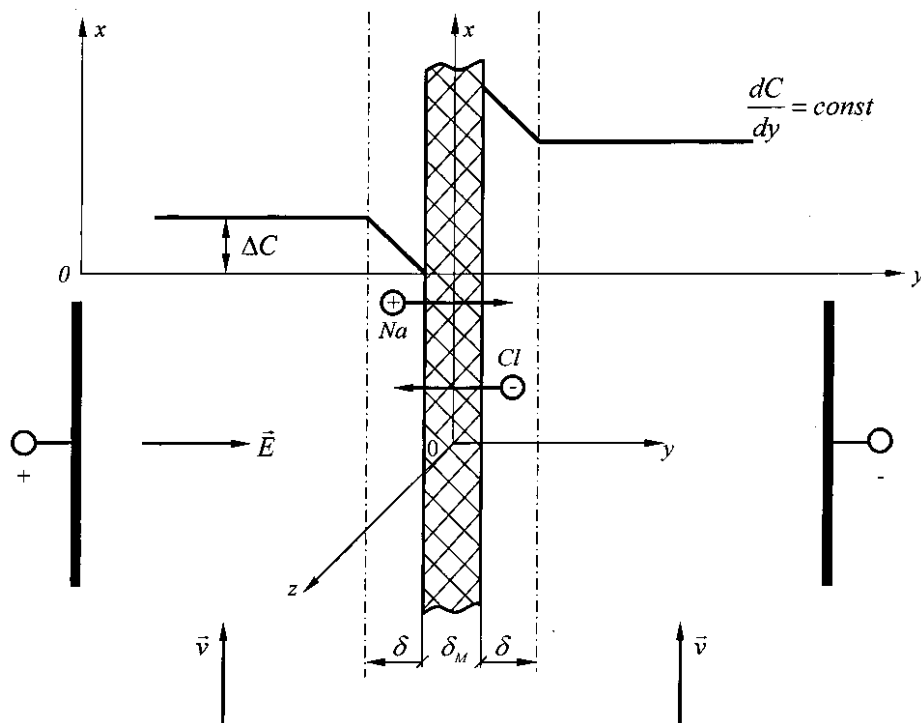


Рисунок 2 – Розподілення концентрації в електродіалізному осередку

Більшість авторів у своїх дослідженнях по електродіалізу спрощують рішення задачі, приймається усереднене значення концентрації з найменшим та логоріфмічним розподіленням концентрації по довжині каналу на межі розділу фаз розчин-мембрана.



При складанні математичної моделі, яка описує процес масопереносу в електродіалізованому осередку, будемо виходити з припущення, що на межі розділу розчин-іонітова мембрана умова електронейтральності не виконується. Математична модель повинна враховувати комплексний вплив факторів гідродинамічного походження та умови масопереносу на основні розрахункові величини, такі як щільність струму та розподіл концентрації прошарків в камерах ЕОУ.

Випадок проходження струму крізь перемішаний електроліт, який містить іони певних сортів ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) розглянутий у праці [9], де рівняння записано в наступному вигляді

$$\operatorname{div}(C_i \vec{v}) - D_i \nabla C_i = D_i z_i \frac{F}{RT} \operatorname{div}(C_i \vec{E}). \quad (4)$$

При виводі рівняння (4) було прийнято ряд припущень:

- коефіцієнт дифузії D не залежить від концентрації, а отже він залишається постійним у всіх точках;
- розчин залишається ізотермічним, тому не враховується можливість термодифузійного процесу;
- незмінність концентрації у часі в кожній точці електролітичного шару, тобто процес стаціонарний $\frac{DC_i}{dt} = 0$.

Ліва частина рівняння (4) характеризує дифузійний і конвективний перенос іонів разом з рухомим розчином, а права частина - потік мігруючих іонів під впливом прикладеного електричного поля.

Рішення рівняння (4) у часткових похідних в загальному вигляді уявляє великі складності, тому були прийняті фізичні та геометричні припущення:

- 1) течія в робочих каналах ЕОУ носить ламінарний характер;
- 2) робочий розчин складається з розчинника та повністю іонізованої солі;
- 3) робочі канали ЕОУ мають форму прямокутного паралелепіпеда, при цьому відстань між мембранами залишається постійною;
- 4) іонообмінні мембрани ізотропні і в якості їх характеристик використовують коефіцієнт селективності α ;
- 5) процес масопереносу в електродіалізованому осередку є рух іонів одного сорту (проти іонів Na^+ і Cl^-) і не залежить від руху іонів інших сортів;
- 6) напруженість електричного поля E в каналах ЕДО залежить тільки від напруги на електродах U і відстані між ними H .

Перших два припущення є звичайними умовами роботи багатокамерного електродіалізатора.

Припущення 3 і 4 засновані на тому, що канали прямокутної форми переважають у конструкціях промислових ЕОУ і за основні характеристики іонообмінних мембран (електропровідність, волоємність, набухання) по всій робочій площині в першому приближенні можна враховувати практично незмінним.

Умова 5 засновано на тому, що струм через іонообмінну мембрану взагалі переноситься протіонами, при цьому характер руху та швидкість протіонів мало залежить від руху іонів інших сортів і перш за все коіонів. Тому при рішенні крайової задачі по електродіалізу внеском коіонів в загальний процес масопереносу можна знехтувати.

Останнє припущення дозволяє розглядати падіння напруги в електродіалізованому осередку постійним. При цьому падінням напруги в електродіалізованому осередку можна знехтувати

$$\vec{E} = \frac{\vec{U}}{H} = const,$$



що суттєво спрощує рішення задачі.

Згідно прийнятих припущень рівняння (4) записується в наступному вигляді

$$\operatorname{div}(C_i \vec{v}) = D_i \nabla C_i + \frac{z_i F D_i}{RT} \operatorname{div} \left(C_i \frac{\vec{U}}{H} \right). \quad (5)$$

Рівняння (5) записує незалежний рух іонів одного сорту. Під дією дифузії, прикладеного електричного поля і конвективного переносу разом з рухомих розчином. Тому при подальшому рішенні задачі індекс і відповідний певному сорту іонів, будемо спрощувати.

Як було вказано вище, рішення диференціальних рівнянь в загальному вигляді являє собою великі складнощі. Тому виконаємо ряд перетворень з урахуванням властивостей дивергенції та градієнту, а також прийнятих припущень рівняння (5) в координатному уявленні буде записано в наступному вигляді

$$v_x \frac{\partial C}{\partial x} + v_y \frac{\partial C}{\partial y} + v_z \frac{\partial C}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) + \frac{z F D}{RT} \left(E_x \frac{\partial C}{\partial x} + E_y \frac{\partial C}{\partial y} + E_z \frac{\partial C}{\partial z} \right). \quad (6)$$

З метою подальшого спрощення задачі приймаємо, що висота робочих каналів ЕОУ значно менше ширини $h < b$ (рис. 3), тоді можна враховувати $\frac{\partial c}{\partial y} = 0$, тобто відсутній масоперенос поперек каналу

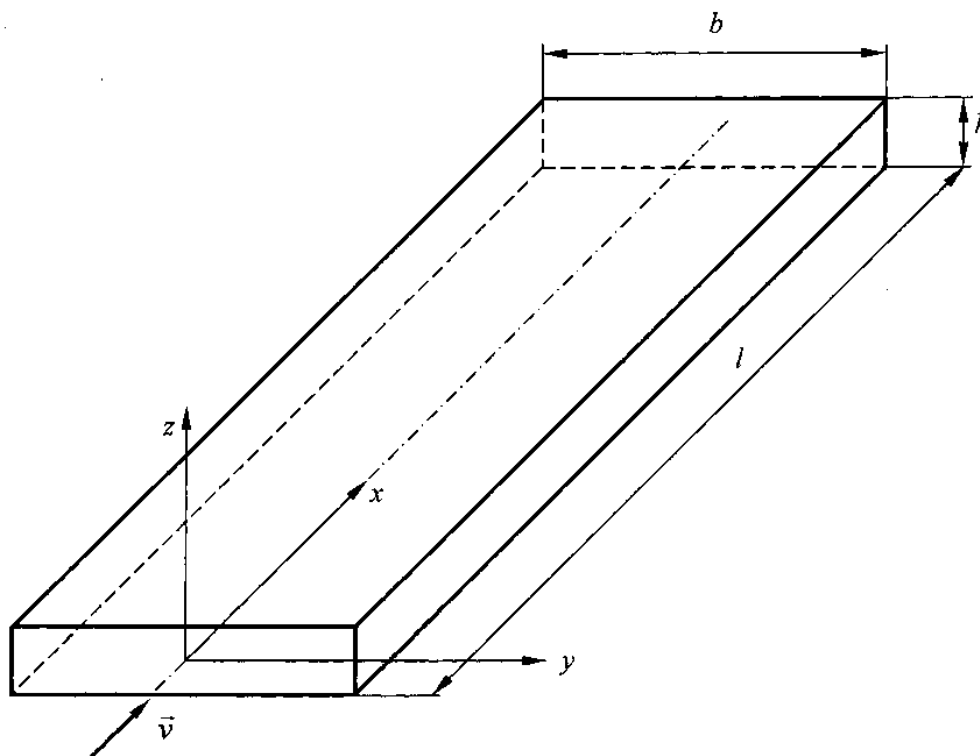


Рисунок 3 – Прийнята система координат

Крім того приймаємо, що вектор напруженості електричного поля спрямований перпендикулярно до площини мембран, тоді

$$\vec{E}_x = 0, \vec{E}_y = 0 \text{ и } \vec{E}_z = \vec{U}/H.$$

З урахуванням введених спрощень рівняння (6) зводиться до вигляду



$$v_x \frac{\partial C}{\partial x} + v_z \frac{\partial C}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) + \frac{zFD}{RT} \cdot \frac{U}{H} \frac{\partial C}{\partial z}. \quad (7)$$

Для визначення шуканої функції (розподіл концентрації в електродіалізованому осередку), рівнянню (7) доповнимо рівняннями руху рідини та нерозривності, тоді крайова задача, до якої зводиться математична модель масопереносу в електродіалізованому осередку опріснювача з урахуванням припущень запишеться в наступному вигляді [2]:

$$\left. \begin{aligned} v_x \frac{\partial C_1}{\partial x} + v_z \frac{\partial C_1}{\partial z} &= D_1 \left(\frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_1}{\partial z^2} \right) + A_1 \frac{U}{H} \frac{\partial C_1}{\partial z}; \\ v_x \frac{\partial C_2}{\partial x} + v_z \frac{\partial C_2}{\partial z} &= D_2 \left(\frac{\partial^2 C_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_2}{\partial z^2} \right) + A_2 \frac{U}{H} \frac{\partial C_2}{\partial z}; \\ v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right); \\ v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right); \\ \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

При межових умовах

$$\left. \begin{aligned} C(x, z) \Big|_{x=0} &= C_u, \text{ на вході до каналу;} \\ C(x, z) \Big|_{z=h/2} &= 0; \\ C(x, z) \Big|_{z=-h/2} &= C_u. \end{aligned} \right\} \text{ на мембранах.}$$

Для зручності запису введений коефіцієнт

$$aA_i = \frac{z_i FD_i}{RT}, \quad (i = 1, 2).$$

Рівняння (8) розглядає випадок, коли через електродіалізований осередок опріснювача проходить бінарний розчин хлориду натрію маючий тільки іони Na та Cl і мало залежать від руху іонів інших сортів і перш за все коіонів.

Перспективи подальших досліджень. Здобута математична модель необхідна при проектуванні високоефективних мембранних модулів, що дозволить підвищити продуктивність суднових ЕДО та здобувати опріснену воду з заданими показниками якості.

Висновки:

1. На основі теоретичного аналізу фізичних процесів в робочих каналах ЕДА обрана математична модель масо переносу, яка зводиться до рішення крайової задачі з урахуванням прийнятих припущень в електродіалізованому осередку.

2. Встановлений зв'язок між характером течії в електродіалізованому осередку з інтенсивністю масопереносу та струмом провідності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Массоперенос и гидравлическое сопротивление в электродиализных опреснителях / [В. В. Шевченко, Г. П. Величенко, В. С. Цвиклис, А. Н. Філіпчук]. // Зб. наук. праць НУК/ – Миколаїв : НУК, 2011. – № 2.



2. Шевченко В. В. Совершенствование судовых электродиализных опреснителей рациональными технологическими методами : Автореферат диссертации... к.т.н. / В. В. Шевченко. – Николаев : НКН., 1988.
3. Гельферих Ф. Иониты / Ф. Гельферих. – М. : Иностранная литература, 1962.
4. Shaffer L.H. and Mints M.S. Electrodialysis. // Principles of Desalination. – New York and London; Academic press. – P. 213-222.
5. Домаскин Б. Б. Введение в электрохимическую кинетику / Б. Б. Домаскин, О. А. Петрий. – М. : Высш. школа, 1983 – 148 с.
6. Математическая энциклопедия / под редакцией И. М. Виноградова. – М. : Советская энциклопедия, 1982. – С. 848-850.
7. Уилсон Д. Деминерализация методом электродиализа / Д. Уилсон. – М. : Госатомиздат, 1963. – С. 13-26.
8. Кокотов Ю. А. Равновесие и кинетика ионного обмена / Ю. А. Кокотов, В. А. Пасегнин. – Л. : Химия, 1970. – 336 с.
9. Spiegler K. S. Study of membrane // Solution interfaces by electrochemical methods. – Desalination. – 1986. – № 353. – P. 17-22.

Шевченко В.В., Филипчук А.Н., Покорный В.В. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНОГО ПРОЦЕССА ОПРЕСНЕНИЯ И ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
На основании теоретического анализа электродиализного процесса опреснения воды предложена математическая модель массопереноса в электродиализной ячейке опреснителя с учетом принятых допущений.
Ключевые слова: электродиализ, массоперенос, электродиализная ячейка, опреснение, математическая модель

Shevchenko V.V., Filipshchuk A.N., Pokorny V.V. THEORETICAL ANALYSIS OF ELECTRODIALYSIS DESALINATION AND CHOICE OF MATHEMATICAL MODEL
Based on theoretical analysis of electro-dialysis desalination process the mathematical model of mass transfer in electro-dialysis desalination plant cell is proposed taking into account the hypothesis set.
Keywords: electro-dialysis, mass transfer, electro-dialysis plant cell, desalination, mathematical model.



КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ІНСТРУКТОРА АВІАЦІЙНОГО ТРЕНАЖЕРА

Шульгін В.А.

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету

Професійна діяльність інструктора авіаційного тренажера розглянута у ракурсі прояву характерних рис різноманітних видів операторської діяльності (оператора-технолога, оператора-спостерігача (контролера), оператора-дослідника, оператора-керівника та оператора-маніпулятора). Визначені основні етапи і запропоновані частинні та загальний критерій оцінки ефективності професійної діяльності інструктора.

Ключові слова: характерні особливості професійної діяльності інструктора авіаційного тренажера; етапи, частинні та узагальнений критерій оцінки ефективності праці.

Вступ. На теперішній час загальновизнано, що професійна підготовка (ПП) авіаційних операторів (АО) на авіаційних тренажерах (АТ) суттєво і позитивно впливає на безпеку польотів (БП). Більш того, використання АТ для зменшення вартості льотної підготовки, покращення екології набуває особливої актуальності в умовах економічної кризи країни. В зв'язку з цим, зараз до АТ висуваються більш жорсткі вимоги щодо гнучкості, мобільності та вартісних складових. При цьому слід вказати на особливу роль інструктора АТ (ІАТ), котрий може забезпечити ефективне тренування і на недостатньо досконалому тренажері [1-3].

Актуальність досліджень. Професійна діяльність ІАТ незвичайно багатогранна і вимагає прояву різноманітних і специфічних рис операторської діяльності, кожна з яких характеризується певними частинними особливостями [4, 5]. Більшість з них властива і праці ІАТ [1]. Отже, як *оператор-технолог* він безпосередньо залучений в процес тренажерної підготовки (ТП), де працює, в основному, в режимі негайного обслуговування членів льотного екіпажу (ЧЛЕ), які проходять підготовку, приймаючи і переробляючи інформацію, що поступає. В його праці переважають керуючі дії. Їх виконання регламентуються зазвичай інструкціями (наприклад, Керівництвом з льотної експлуатації) з повним набором ситуацій і рішень. При цьому вказані особливості праці оператора-технолога властиві не тільки ЧЛЕ, які здійснюють технологічні процеси управління повітряним судном (ПС) (чи його моделлю, імітованою на АТ), але ж і самому ІАТ, кваліфікаційна характеристика якого передбачає наявність знань, вмінь, навичок (ЗВН) управління і самим ПС, і його моделлю та АТ. Як оператор-технолог він керує також і процесом ТП (другий контур керування на рис. 1 [6]).

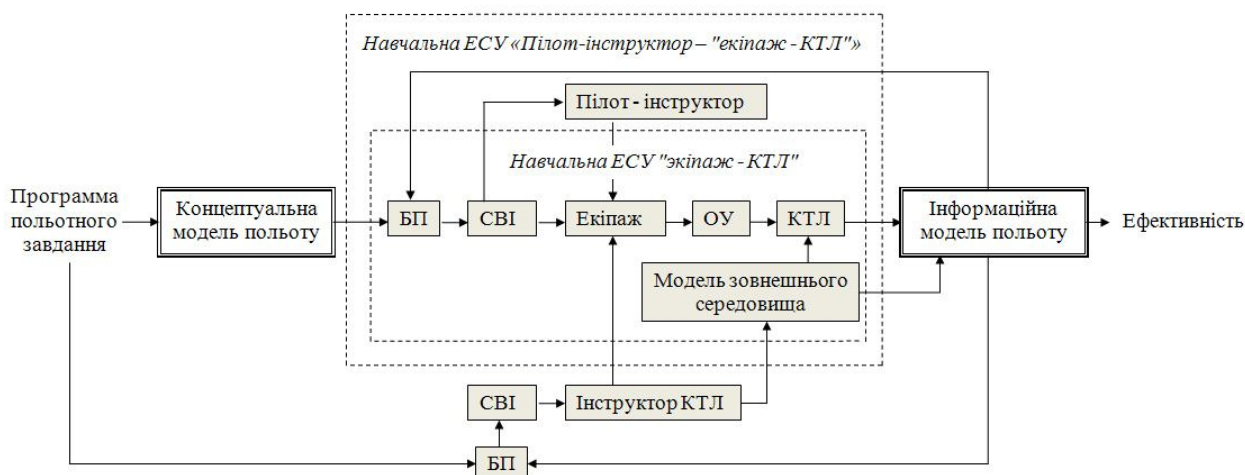


Рисунок 1 – Структурно-функціональна схема навчальної ергономічної системи управління «інструктор тренажера – «пілот-інструктор – «тренажер – екіпаж»»



Оператор-спостерігач (контролер) – це класичний тип людини-оператора (Л-О), з дослідження якого і почалася, за суттю, інженерна психологія [4]. Важливі значення для праці в цій якості мають інформаційні і концептуальні моделі, а також процеси ПР. Керуючі дії ІАТ-контролера в порівнянні з функціями інструктора-технолога дещо спрощені. Він може працювати в режимі оперативного (зупинення ТП через грубі помилки ЧЛЕ, що несумісні з БП, підказка, виконання функцій диспетчера обслуговування повітряного руху), а також відстроченого (післяпольотний розбір і аналіз помилок ЧЛЕ) обслуговування.

ІАТ у якості *оператора-дослідника* у значно більшому ступені застосовує апарат понятійного мислення і досвід, що закладаються в концептуальну модель його діяльності. ОУ грають в такому випадку ще меншу роль, а «вага» інформаційних моделей, навпаки, суттєво збільшується. В такій якості ІАТ не тільки аналізує розвиток польотних ситуацій, але ж і прогнозує його, не тільки оцінює рівень ПП випробуваних, але ж і прогнозує його, раховуючи при плануванні тренувань.

ІАТ як *оператор-керівник* приймає рішення (ПР) в цілеспрямованій навчальній ергатичній системі управління (ЦНЕСУ). У такому випадку його діяльність майже не відрізняється від попереднього типу операторської праці, однак для нього відповідальність і механізми інтелектуальної діяльності мають переважające значення.

Для ІАТ як *оператора-маніпулятора* велике значення має сенсомоторна координація, що також поріднює її з працею технолога (наприклад, безперервне слідкування за зміною інформаційної моделі польоту на робочому місці інструктора (РМІ)). Механізми моторної діяльності мають для нього переважające значення тільки в період виконання функцій одного з ЧЛЕ в кабіні АТ. Найбільш важливим в такому виді діяльності є апарат понятійного і образного мислення. Тому до ІАТ висуваються такі вимоги: висока чутливість і перешкодостійкість при сприйнятті різноманітних видів інформації; здібності до стійкої моторної діяльності в максимальному темпі; висока м'язово-суглобова чутливість.

Професійна діяльність ІАТ як суб'єкта управління ПП може бути уявленою у виді таких основних етапів (рис. 2) [1, 4, 6, 7]: I – прийому інформації; II – оцінки та переробки інформації; III – прийняття рішення (ПР); IV – виконання рішення. I на кожному з цих етапів ІАТ як інструментальний, так і не інструментальний контроль свої дій, тому що будь-який з них позитивно впливає на надійність його праці. На ефективність виконання кожного етапу впливає ряд чинників. Скажімо, якість сприйняття інформації залежить від виду та кількості індикаторів, організації РМІ, психофізичних характеристик інформації. На оцінку і переробку інформації впливають способи кодування інформації, її відповідність можливостям пам'яті і професійних розумових здібностей інструктора.

Ефективність вибору визначається типом задач ПР (ЗПР), кількістю і складністю логічних умов, що перевіряються, а також кількістю можливих альтернатив з управління ТП. Виконання керуючих впливів залежить від кількості органів управління (ОУ), їх типа і способу розташування, а також великої групи характеристик, що визначають складність праці с окремим ОУ.

Постановка задачі. Виходячи з вищенаведеного слід зазначити, що усі етапи діяльності ІАТ, і чинники, що впливають на їх ефективність, а також особливості операторської діяльності мають бути не тільки враховані при розробці РМІ, але ж і при оцінці ефективності його праці. З аналізу наукових джерел витікає, що другому напрямку вдосконалення діяльності ІАТ приділяється явно недостатньо уваги, що певним чином гальмує і розвиток ефективної ТП АО. Тому **метою** дослідження є розробка моделей омплексної оцінки ефективності діяльності ІАТ.

Результати досліджень. Отже, на I етапі професійної діяльності ІАТ превалюють елементи слідкування за поведінкою керованого об'єкту, що вимагає від нього швидкого переходу від одних видів подання інформації до інших і підвищеної уваги. Стосовно моделі повітряного судна (ПС) – за положенням його у просторі середовища (курс ψ , кут



атаки α , крен γ , тангаж ν), швидкістю (лінійною V , кутовою ω), температурою (T), тиском (P), динамічними характеристиками найбільш важливих елементів, що визначають якість управління процесом ТП ($d\psi/dt$, $d\alpha/dt$, $d\gamma/dt$, du/dt , dV/dt , $d\omega/dt$ і т. ін.) з використанням різноманітних джерел інформації (візуальної, акустичної, тактильної). І тут спостерігаються такі особливості:

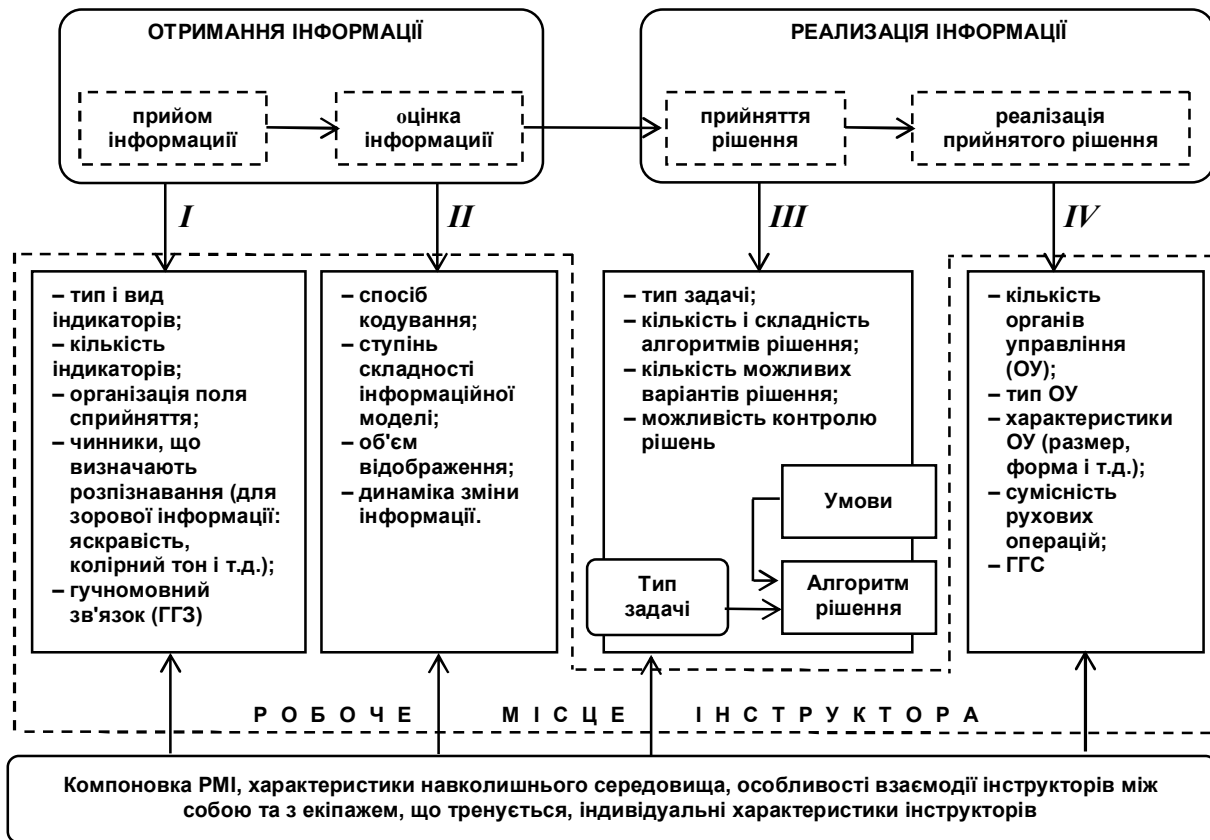


Рисунок 2 – Етапи діяльності інструктора тренажера на робочому місці

1) швидкість переходу від n -го до m -го виду подання інформації (наприклад, від системи числення з основою n до системи з основою m) максимальна:

$$V[p(n) \rightarrow p(m)] = V_{\max}, \quad (1)$$

де $p(n)$, $p(m)$ – оператори переходу до n -го та m -го виду подання інформації відповідно;

2) підвищена увага веде до граничного перевантаження рецепторів і швидкого стомлення, тобто максимальній швидкості зменшення градієнта працездатності B , що формально має такий вигляд:

$$\varphi_{\max} \rightarrow H p_{\max} \rightarrow - \left(\frac{dB}{dt} \right)_{\max}. \quad (2)$$

На II етапі діяльності ІАТ превалюють елементи аналізу фактичної інформації, що отримується від керованого об'єкта в процесі ТП, порівнюючи її з інформацією, що прийнята за еталонну для заданого режиму роботи учбового екіпажі чи режиму управління. На цьому етапі здійснюються такі операції:

1) порівняння фактичних і номінальних значень параметрів управління ТП і оцінка знаку відхилення фактичних значень від номінальних, тобто



$$\left. \begin{aligned} & \left| \Delta \omega \right|_{\text{доп.}} \leq \omega_{\text{факт.}} - \omega_{\text{ном.}}, \quad \text{sign } \Delta \omega \\ & \left| \Delta V \right|_{\text{доп.}} \leq V_{\text{факт.}} - V_{\text{ном.}}, \quad \text{sign } \Delta V \\ & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ & \left| \Delta P \right|_{\text{доп.}} \leq P_{\text{факт.}} - P_{\text{ном.}}, \quad \text{sign } \Delta \omega \quad \text{і т.д.} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

2) порівняння похідних і оцінка їх відхилень:

$$\left| \frac{d\omega_{\text{факт.}}}{dt} - \frac{d\omega_{\text{ном.}}}{dt} \right| \leq \delta_{1\text{доп.}}; \quad \dots; \quad \left| \frac{dP_{\text{факт.}}}{dt} - \frac{dP_{\text{ном.}}}{dt} \right| \leq \delta_{i\text{доп.}} \quad (4)$$

3) безпомилковий ($q=0$) «вибір» з пам'яті номінальних значень параметрів управління ($\omega_{\text{ном.}}$, $V_{\text{ном.}}$, $P_{\text{ном.}}$ і т.д.) в межах допустимого періоду часу $\tau_{\text{доп.}}$, тобто:

$$\omega_{\text{ном.}} \uparrow, \quad V_{\text{ном.}} \uparrow, \quad P_{\text{ном.}} \uparrow \rightarrow (\tau_{\text{доп.}}, q=0), \quad (5)$$

де q – кількість помилок, яких припустився ІАТ при виборі інформації.

Складність праці ІАТ на цьому етапі визначається кількістю параметрів k за сукупністю значень яких робиться висновок щодо стану керованого об'єкту, тобто розмірності вектора $S=S=(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k)$. При цьому зазначимо, що найбільш складно реалізувати на практиці такі процедури:

- своєчасний і правильний вибір з пам'яті необхідної інформації, що характеризує «ідеальний» процес управління;
- оцінка ситуації, що склалася, яка реалізується на основі порівняння сукупності ознак з відповідною областю їх обмежень, що вимагає від ІАТ демонстрації найбільш високого рівня ПП.

Комплексна оцінка ефективності діяльності ІАТ на I–II етапах може бути проведена по кількісним значенням одного чи кількох показників якості реалізації процедури слідкування, наприклад по середньоквадратичному відхиленню помилок слідкування, за числом максимально припустимих відхилень параметрів слідкування впродовж заданого інтервалу часу, за дисперсією і математичному очікуванню помилки слідкування і т.под. з застосуванням таких формул:

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{i=1}^k (\delta_{i\text{доп.}} - \delta_{i\text{факт.}})^2 \leq D_{\text{доп.}} \\ & \sum_{j=1}^l (\Delta x_{j\text{факт.}} - \Delta x_{j\text{доп.}})^2 \leq D_{\text{доп.}}^* \\ & D_{\text{доп.}} \leq \int_{t_0}^{t_p} \left[\left(\frac{dx_{\text{факт.}}}{dt} - \frac{dx_{\text{доп.}}}{dt} \right) - \delta_{\text{доп.}} \right]^2, \quad \text{при } \tau_{\text{доп.}} = 0 \\ & \left. \begin{aligned} & q = 0 \\ & - \left(\frac{dB}{dt} \right)_{\text{min}} \end{aligned} \right\} \quad \text{на інтервалі часу } (t_p - t_0) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де x – умовна позначка параметрів $\alpha, \gamma, v, V, T, P$ та ін.

На III етапі специфічність професійної діяльності ІАТ проявляється в необхідності ПР щодо виду управління ТП, котре необхідно реалізувати при наявності помилкової чи недоліку релевантної інформації про керований об'єкт (процес) і зводиться до вибору одного з θ чи j :



$$\left. \begin{array}{l} \varphi_1 \text{ якщо } S = S_1(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k, \xi_j) \\ \varphi_2 \text{ якщо } S = S_2(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k, \xi_j) \\ \dots\dots\dots \\ \varphi_0 \text{ якщо } S^* = S(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k, \xi_j) \\ \xi_j = 0, \quad i = \overline{1, k}, \quad j = \overline{1, \infty} \end{array} \right\} \text{ та } \delta_i = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ +1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

або

$$\varphi^* = \varphi_j, \text{ якщо } S^* = S(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k, \xi_j) \text{ та } \delta_i \neq \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ +1 \end{pmatrix}, \quad \xi_j \neq 0, \quad (8)$$

де S – вектор-функція стану керованого об’єкту, котра при θ -розмірності апріорних станів середовища може приймати одне з θ конкретних станів; φ_j – рішення на формування комплексу впливів, що викликаються виникненням ситуацій, що не виникали раніше, тому не були вивчені та опрацьовані; δ_i – відхилення i -го параметру від його значення, що прийняте за номінальне даного виду управління; ξ_j – помилкова (хибна) інформація, що з’являється у виді одно чи кількох з j раніше не відомих і не вивчених сполучень i параметрів, що характеризують стан об’єкта керування; $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi$ – відповідно рішення 1, 2, ..., θ на формування одного з θ керуючих впливів (чи їх комплексу), які приймаються на основі співпадання раніше вивчених сполучень значень параметрів, що характеризують стан об’єкта керування, з їх фактичними значеннями.

На цьому етапі ефективність праці ІАТ може бути оціненою за часом формування раніше невідомого алгоритму, потрібного для управління ПП, або за часом вибору потрібної послідовності керуючих впливів на основі одного чи кількох частинних алгоритмів з числа відомих:

$$I = \sum_{\eta=1}^{\xi} \tau(A_{\eta}), \quad I^* = \frac{1}{\xi} \sum_{\eta=1}^{\xi} \tau(A_{\eta}), \quad (9)$$

де I та I^* – відповідно інтегрована та усереднена по ξ частинним алгоритмам ефективність праці ІАТ на III етапі, які вимірюються в одиницях часу; $\tau(A_{\eta})$ – час формування раніше невідомого (не випробуваного) алгоритму або вибору з ξ відомих частинних алгоритмів ($h = \overline{1, x}$).

Специфіка IV етапу полягає в тому, що від підсумовує наслідки діяльності ІАТ по трьох попередніх етапах і що помилки, які були допущені на ній при формуванні керуючих дій, можуть звести нанівець усю попередню роботу. Цю особливість при моделюванні діяльності ІАТ як людини-оператора (Л-О) в умовах стресу бажано враховувати шляхом привласнення чисельним критеріям його праці відповідної «ваги», пропорційної вартості кожної помилки інструктора на цьому етапі і потрібному психологічному рівню його ПП при припустимому значенні імовірності (шансів) помилкового чи несвоечасного формування керуючих дій. Тоді реалізація керуючої дії або комплексу керуючих впливів формально може бути описаною, спираючись на логічний вираз $\Phi_v(A_{\eta}) \leftrightarrow \phi_v$, який означає, що рішення, яке було прийняте на III етапі, вважається реалізованим тоді і тільки тоді, коли безпомилково буде реалізована відповідна йому послідовність Φ частинних алгоритмів A_{η} .

Ефективність праці ІАТ на IV етапі визначається так:



$$I_{\Sigma} = \frac{\sum_{\eta} t_{\eta} \Phi_{\nu}(A_{\nu})}{1 + \eta \sum_{\eta} p_{\eta} K_{\eta}} \quad \text{якщо} \quad \begin{cases} B(p_{\eta}) = P(p_{\eta} \leq p_{\eta \text{ доп.}}) \\ B(t_{\eta}) = P(t_{\eta} \leq t_{\eta \text{ доп.}}) \end{cases}, \quad (10)$$

де P_{η} – кількість помилок, котрих припустився ІАТ при реалізації η -го частинного алгоритму; K_{η} – коефіцієнт, що враховує «вартість» кожної помилки інструктора при реалізації η -го частинного алгоритму; t_{η} – час формування керуючого впливу (реалізації ПР); $\Phi_{\nu}(A_{\eta})$ – ν -та послідовність A_{η} частинних алгоритмів; $B(p_{\eta})$, $B(t_{\eta})$ – імовірність того, що кількість помилок і час реалізації η -го частинного алгоритму, не перевищать допустимого значення.

В процесі реалізації ІV етапу ІАТ неминуче реалізує операції І етапу, забезпечуючи тим самим контроль правильності і повноти реалізації рішення, що було прийняте на ІІІ етапі.

Висновки. Головна особливість професійної діяльності ІАТ являє собою синтез елементів та педагогічної та операторської (льотної чи диспетчерської) праці, котра, у свою чергу, агрегує у собі різноманітні види операторської праці, зокрема йдеться про оператора-технолога, оператора-спостерігача (контролера), оператора-дослідника, оператора-керівника та оператора-маніпулятора тощо.

Діяльність ІАТ розглядається по етапах: І – прийому інформації; ІІ – оцінки та переробки інформації; ІІІ – ПР; ІV – виконання рішення. Загальний критерій успішності професійної діяльності ІАТ – ефективність – співпадає з критерієм оцінки якості функціонування цілеспрямованої навчаючої ергатичної системи керування. Моделі і критерії, що були розроблені, дозволяють провести комплексну оцінку праці ІАТ на усіх етапах його операторської діяльності.

Подальші дослідження слід проводити в напрямках розробки нечітких моделей оцінки праці ІАТ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рева А. Н. Оптимизация деятельности инструктора авиационного тренажера : научно-практические рекомендации / [А. Н. Рева, В. А. Горячев, В. А. Кузнецов и др.]; под ред. В. А. Бодрова, А. Н. Ревы. – М. : ИПАН СССР, 1990. – 126 с.
2. Меерович Г. Ш. Авиационные тренажеры и безопасность полетов / Г. Ш. Меерович, А. И. Годунов, О. К. Ермолов; под общ. ред. Мееровича Г. Ш. – М. : Воздушный транспорт, 1991. – 342 с.
3. Рева А. Н. Эргономические методы и средства тренажерной подготовки летного состава: научно-практические рекомендации / [А. Н. Рева, А. А. Комаров, В. А. Кузнецов и др.] ; под ред. А. Н. Ревы, М. И. Рубца. – Кировоград : ГЛАУ, 1995. – 106 с.
4. Основы инженерной психологии : учеб. для ВУЗов / [Б. А. Душков, Б. Ф. Ломов, В.Ф. Рубахин и др.]; под ред. Б. Ф. Ломова. – М. : Высшая школа, 1986. – 448 с.
5. Руководство по эргономическому обеспечению разработки техники. – Ч. 1. Общие эргономические требования / под ред. В. М. Мунипова и др. – М. : ВНИИТЭ, 1979. – 260 с.
6. Рева О. М. Характеристика ергатичної системи «інструктор – авіаційний тренажер – льотний екіпаж» / О. М. Рева, О. М. Дмитрієв, О. М. Медведенко, О. Я. Біло // Авіаційно-космічна техніка і технологія : наук.-техн. ж. – Харків : Національний аерокосмічний ун-т «ХАІ», 2009. – № 7. – С. 175-187.
7. Луцький М. Г. Метод створення програмного забезпечення пульта інструктора авіаційного тренажера / М. Г. Луцький, Ю. М. Рябокін // Інформатика, управління та обчислювальна техніка : Вісник НТУ «КПІ». – 2010. – № 50. – С. 80-85.



Шульгин В.А. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТРУКТОРА АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА

Профессиональная деятельность инструктора авиационного тренажера рассмотрена в ракурсе проявления характерных черт разнообразных видов операторской деятельности (оператора-технолога, оператора-наблюдателя (контролера), оператора-исследователя, оператора-руководителя и оператора-манипулятора). Определены основные этапы и предложены частные и обобщенный критерий оценки эффективности профессиональной деятельности инструктора.

Ключевые слова: характерные особенности профессиональной деятельности инструктора авиационного тренажера; этапы, частные и обобщенный критерии оценки эффективности труда.

Shulgin V.A. COMPOSITE EFFICIENCY APPRAISAL OF FLIGHT SIMULATOR INSTRUCTOR PROFESSIONAL ACTIVITY

Professional activity of flight simulator instructor is studied as distinctive features manifestation of various operator's functions (technologist-operator, observer-operator (controller), investigator-operator, leader-operator and manipulator-operator). Main stages of operator's efficiency appraisal are determined. Specific and general evaluation criteria for the appraisal are suggested.

Keywords: distinctive features of flight simulator instructor's professional activity; stages, specific and general evaluation criteria.



УДК 502.3

ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ РІВНЯ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ЗНАНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ МАРКІВСЬКОЇ МОДЕЛІ

Яковенко В.Д.

Одеський національний політехнічний університет

В статті проведено моделювання рівнів досконалості та прогнозування стану рівня організаційних знань за допомогою марківської моделі.

Ключові слова: рівень організаційних знань, узагальнений показник ефективності, рівень досконалості, марківська модель, матриця перехідних станів, ймовірність станів.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями. Проблема того, наскільки ефективно колектив організації (суб'єкт) уміє працювати з усіма видами знань і на їх основі генерувати нові, залежить його поточний і майбутній успіх. Рівень організаційних знань не можна оцінити на основі характеристики однієї властивості, а можна оцінити деякою зведеною (узагальненою) величиною – узагальненим показником ефективності рівня організаційних знань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та виділення невирішених задач проблеми. У літературі приводять різні визначення поняття рівня організаційних знань (РОЗ). Відповідно до [1 – 4] «РОЗ є процесом, за допомогою якого організація накопичує багатство, опираючись на свої інтелектуальні чи засновані на знаннях організаційні активи», але не приводиться визначення та прогнозування узагальненого показника ефективності рівня організаційних знань.

Формулювання цілей статті. Запропоновано модель комплексної оцінки РОЗ, яка дозволяє здійснити кількісно-якісне оцінювання рівня освоєних знань О(П). Розроблено прогнозування стану рівня організаційних знань за допомогою марківської моделі.

Викладення матеріалів дослідження. Стандарти і Директиви для гарантії якості Вищої освіти в Європейському регіоні, розроблені ENQA [4], декларують, що оцінка знань є відправною точкою для ефективної гарантії якості.

Кількісне оцінювання (вимірювання) рівня освоєних організаційних знань О(П) відноситься до найбільш складних задач і є найменш дослідженим, тоді як необхідність, актуальність і практична значущість таких робіт достатньо велика.

Трудомісткість, ефективність, проблема обґрунтування кількісних і якісних критеріїв оцінки такого комплексного завдання важко піддається прямому оцінюванню. У той же час ієрархічна структура дозволяє провести її декомпозицію до рівня досить простих завдань, і побудувати алгоритми оцінювання, прогнозувати стан рівня організаційних знань за допомогою марківської моделі.

З метою удосконалення визначення узагальненого показника ефективності (УПЕ) РОЗ, проводимо моделювання процесу управління якістю РОЗ та його оцінювання.

Для цього автором розроблена «модель 5Н» - п'яти рівнів досконалості (критеріїв): Незадовільно, Нижче норми, Норма, Нормативи перевищені, Набагато вище норми – модель послідовності удосконалення управління якістю РОЗ. Під цією моделлю розуміється певна сукупність показників і складових, які характеризують основні компоненти організаційних з позицій менеджменту якості, а також опис рівнів досконалості (кваліметричних шкал у вигляді матриць) всіх складових, які у сукупності визначають всі процеси, направлені на досягнення необхідних результатів якості.

Для оцінки рівня досконалості РОЗ за всіма показниками і складових моделі з урахуванням вимірювань розроблені спеціальні кваліметричні шкали, які вербально описують п'ять впорядкованих рівнів досконалості (критерії) або стадії розвитку показників якості РОЗ і їх складових. Цим п'ятьом рівням досконалості поставлена у відповідність 5-ти бальна числова шкала (від 1 до 5 балів).



З огляду на властивість ймовірності несумісних подій, що утворюють повну групу, для кожного кроку k :

$$p_1(k) + p_2(k) + \dots + p_n(k) = 1. \quad (6)$$

Наведені вище залежності дозволяють виконати моделювання ефективності комплексу реалізованих заходів-дій X на стан показника.

При дослідженні безперервних і дискретних випадкових ланцюгів користуємось графічним представленням функціонування показника. Граф станів показника представляє собою сукупність вершин, що зображають можливі стани показника D_i (рівня досконалості), і сукупність гілок, що зображають можливі переходи показника із одного стану в інший. Позначимо через D_i можливі стани показника, викликані проведенням деяких заходів X (рис. 1):

- D_1 – незадовільно;
- D_2 – нижче норми;
- D_3 – норма;
- D_4 – нормативи перевищені;
- D_5 – набагато вище норми (еталон).

Стан показника представлений у вигляді графа (рис. 1.1), де стрілками вказані можливі переходи із одного стану в інший за один крок і позначені перехідні ймовірності $P_{ik} \{i=1\dots n; k=1\dots n; n=5\}$.

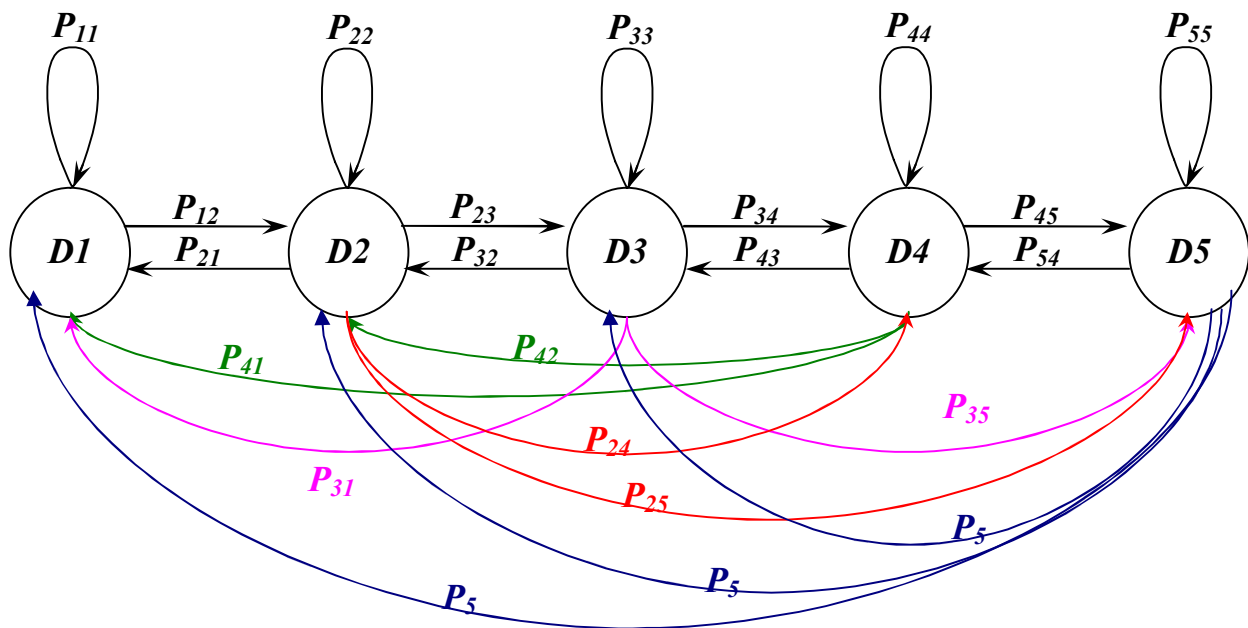


Рисунок 1 – Граф переходів у марківському ланцюгу

Випадковий процес (марківський ланцюг) можна представити, як переміщення точки (показник D_i) по графу станів випадковим чином з перескакуванням із одного стану на інший у моменти t_1, t_2, \dots, t_k , які відповідають часу дії деякого комплексу реалізованих заходів. При цьому стан D_i може не змінюватися у деяких кроках. Тому для будь-якого кроку (моменту часу t_1, t_2, \dots, t_k) існують ймовірності переходу показника із деякого стану в будь-який інший, а також ймовірність затримки показника у даному стані. Стани показника, тобто можливі рівні досконалості, а також засоби впливу для зміни стану показника вказані вище. Перехідні ймовірності $P_{ik} \{i=1\dots n; k=1\dots n; n=5\}$ можуть бути отримані експертними методами. «Ймовірності затримки» P_{ii} , доповнюють до одиниці суму перехідних ймовірностей щодо переходу до інших станів. Наприклад, для стану D_1 .

$$P_{1,1} = 1 - (P_{1,2} + P_{1,3} + P_{1,4} + P_{1,5}). \quad (7)$$

На основі матриці перехідних станів, при умові, що початковий стан показника відомий, можна знайти ймовірності станів $p_1(k), p_2(k), \dots, p_5(k)$ після кожного k -го кроку



управлінських дій на даний показник. Так як в початковий момент показник D знаходиться у стані D_1 , то можна прийняти $p_1(0) = 1$. Ймовірності станів після першого кроку беруться з першого рядка матриці.

$$\|P_{ij}\| = \begin{vmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & P_{1,3} & P_{1,4} & P_{1,5} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & P_{2,3} & P_{2,4} & P_{2,5} \\ P_{3,1} & P_{3,2} & P_{3,3} & P_{3,4} & P_{3,5} \\ P_{4,1} & P_{4,2} & P_{4,3} & P_{4,4} & P_{4,5} \\ P_{5,1} & P_{5,2} & P_{5,3} & P_{5,4} & P_{5,5} \end{vmatrix}$$

Ймовірності станів другого і наступного будь-якого k -го кроку:

$$p_i(k) = \sum_{j=1}^m [p_i(k-1) \cdot P_{ji}]_{m=5}; \quad i = 1, 2, \dots, 5 \quad (8)$$

Матриця переходу дозволяє побудувати прогноз станів показника на декілька кроків вперед. Марківський ланцюг (рис. 1.1) дозволяє моделювати стан рівня досконалості показника у залежності від тих або інших дій. Для цього достатньо задати збурення (дію) відповідної ймовірності у матриці переходів щоб оцінити наслідки різних управлінських дій на оцінку якості рівня організаційних знань. Під дією управлінських, інвестиційних заходів, маркетингових досліджень значення показника може або покращитися, або стати гіршим, або залишитися таким же. Припустимо, що за певним показником спостерігається погіршення УПЕ РОЗ. За допомогою марківської моделі можна визначити ймовірності переходу P_{ij} , для побудови прогнозу станів показника на декілька кроків вперед.

За статистичними даними щодо результатів визначення показника стану РОЗ можна визначити значення перехідних ймовірностей і одержати на основі моделювання за допомогою марківської моделі станів прогнозні оцінки подальшого розвитку показника.

Формування матриці перехідних ймовірностей можна виконати на основі експериментальних даних. Наприклад, у випадку, коли оцінка показника відповідала станів 1 він там і залишався у 43 випадках, перехід до стану 2 спостерігався у 28 випадках і у 4 випадках – до стану 3, жодного випадку переходу до станів 4 та 5. Подібним способом оцінюємо також переходи з інших станів. За цими даними складаємо таблицю кількостей переходів від одного стану до іншого.

На рис. 2 приведено результати моделювання станів показника у процесі проведення комплексу заходів для різних початкових даних.

Результати моделювання показують, що ймовірність перебування показника в незадовільному стані 2, достатньо швидко зменшується, досягаючи мінімального значення (крива – 2, рис. 2а). При цьому показник проходить послідовно по станах 3, 4 та 5, оскільки ймовірності перебування у цих станах на певних відтинках траєкторії є найбільшими. Зміна ймовірності станів, за яких показник спочатку знаходиться в станах «норма» (крива – 3, рис. 2б), «нормативи перевищені» (крива – 4, рис. 2в), «набагато вище норми» (крива – 5, рис. 2г), відрізняються між собою, але кінцевий стан у всіх випадках однаковий.

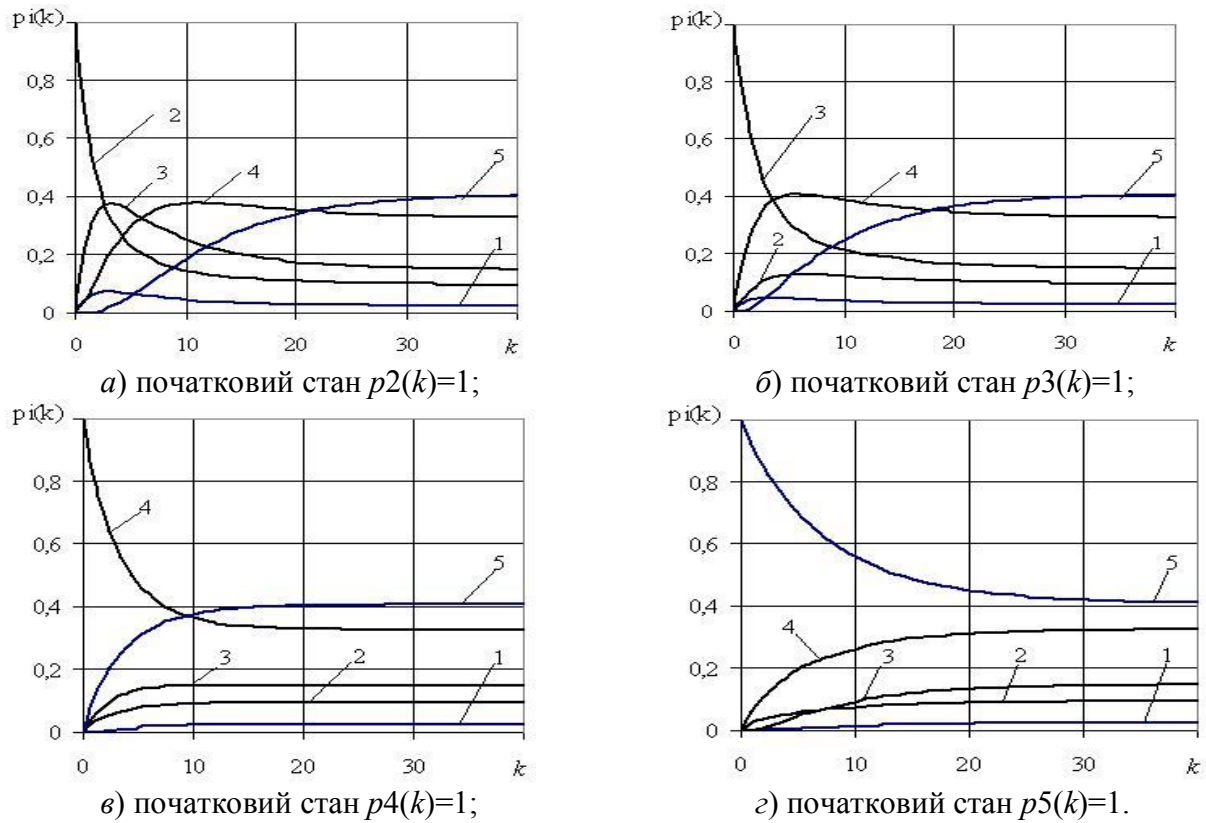


Рисунок 2 – Прогнозування зміни стану рівня організаційних знань на основі експериментальних вимірів для матриці перехідних ймовірностей: 1 – незадовільно; 2 – нижче норми; 3 – норма; 4 – нормативи перевищені; 5 – набагато вище норми

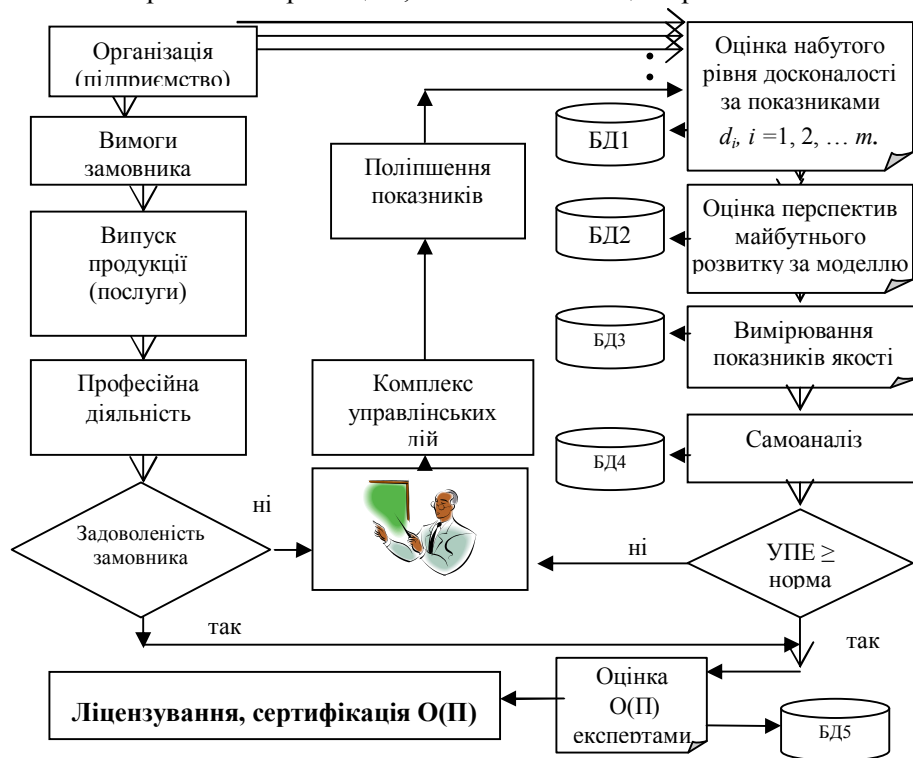


Рисунок 3 – Метод удосконалення УПЕ на основі прогнозування стану показників РОЗ



В подальшому можна виконати інтервальну оцінку помилки вимірювань кількості оцінок відповідного стану РОЗ за допомогою довірчої ймовірності.

Для проведення експериментальних вимірювань із заданою точністю необхідно знати ту кількість оцінок відповідного стану РОЗ, при якому буде забезпечений заданий рівень достовірності.

Отримані дані дозволяють встановити необхідний мінімальний об'єм вибірки та підтвердити якісні оцінки, отримані з використанням моделі 5Н та запропонувати метод покращення УПЕ РОЗ на основі прогнозування стану показників стану рівня організаційних знань з застосуванням моделі 5Н і удосконалення управління (рис. 3).

Приведений метод оцінки тенденції змін параметрів системи може використовуватися в системах визначення УПЕ РОЗ.

Корегуючи коефіцієнти переходу у моделі 5Н рівнів (від незадовільного рівня досконалості до набагато вище норми) на основі практичних даних можна оптимізувати управління дій, направлених на покращання рівня досконалості кожного показника, що дасть можливість підвищити УПЕ рівня організаційних знань.

Висновки та перспективи використання. Отримані результати дозволяють використовувати метод покращення УПЕ РОЗ на основі прогнозування стану показників організаційних знань марківським методом з застосуванням моделі 5Н і удосконалення управління:

– якщо при проведенні самоаналізу та при порівнянні професійної діяльності випускника з вимогами замовника і нормативними показниками спостерігається невідповідність, то особи які приймають рішення (ОПР) пропонують комплекс управлінських дій на покращення кожного показника;

– для визначення оптимального комплексу дій, ОПР може спрогнозувати ці дії за допомогою моделі 5Н.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інформаційна підтримка системи автоматизованого управління якістю діяльності навчального закладу : Матер. МНПК «Автоматизация: проблемы, идеи, решения» : тези доповідей / [В. Д. Яковенко, О. Є. Яковенко ; редкол.: Є. В. Пашков (відпов. ред.) та ін.]. – Севастополь: Видавництво СевНТУ, 2008. – 296 с.

2. Мулен Э. Теория игр с примерами из математической экономики / Э. Мулен. – М. : Мир, 1985. – 200 с.

3. Беспалько В. П. Системно-методическое обеспечение учебно-воспитательного процесса подготовки специалиста : учеб.-метод. пособие / В. П. Беспалько. – М. : Высшая школа, 1989. – 311 с.

4. Управление качеством образования / Под ред. М. Поташника. – М. : Педагогическое общество России, 2000. – 441 с.

5. Наводнов В. Г. Комплексная оценка высших учебных заведений : учеб. пособие / В. Г. Наводнов, Е. Н. Геворкян, Г. Н. Мотова, М. В. Петропавловский // Москва ; Йошкар-Ола : Науч.-информ. центр гос. аккредитации, 2001. – 192 с.

Яковенко В.Д. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ЗНАНИЙ С ПОМОЩЬЮ МАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ

В статье проведено моделирование уровня совершенствования и прогнозирования состояния уровня организационных знаний с помощью марковской модели.

Ключевые слова: уровень организационных знаний, обобщенный показатель эффективности, уровень совершенствования, марковская модель, матрица переходных состояний, вероятность состояний.

Iakovenko V.D. PREDICTION OF CONDITION OF ORGANIZATIONAL KNOWLEDGE LEVEL BY MEANS OF MARCOV'S MODEL

The article deals with modelling of improvement level's and prediction of condition of level organizational knowledge by means of marcov's model.

Keywords: level of organizational knowledge, total indicator of efficiency, level of improvement, marcov's model, matrix of transitive conditions, probability of conditions.



ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Аржаєв Г.О., викладач-методист, голова циклової комісії спецдисциплін 0505 «Машинобудування та матеріалообробка»	Миколаївський будівельний коледж Київського національного університету будівництва і архітектури
Балака М.М., асистент кафедри будівельних машин	Київський національний університет будівництва і архітектури
Барбашова М.В., аспірант кафедри фізики	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Батигін Ю.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри фізики	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Бендеберя Ф.А., аспірант кафедри теорії проектування суден	Одеський національний морський університет
Бірюков Ю.Ю., диспетчер обслуговування повітряного руху	Львівський регіональний структурний підрозділ ДП «Украерорух»
Бобир В.О., к.т.н., доцент, завідувач кафедри судноводіння на морських і внутрішніх водних шляхах	Одеська національна морська академія
Богдан Ю.О., аспірант кафедри судових енергетичних установок, допоміжних механізмів суден та їх експлуатації	Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного
Бондаренко О.В., к.т.н., доцент кафедри теорії та проектування суден	Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв
Борсук С.П., к.т.н., доцент	Інститут аерокосмічних систем управління Національного авіаційного університету, м. Київ
Буй Дуй Тхань, аспірант кафедри теорії та проектування суден	Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв
Василенко А.В., к.т.н., доцент кафедри автоматизації технологічних процесів	Воронезький державний архітектурно-будівельний університет, Росія
Василенко О.В., аспірант кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Гнатов А.В., к.т.н., доцент кафедри автомобільної електроніки і фізики	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Голіков В.В., к.т.н., с.н.с., доцент, докторант	Одеська національна морська академія
Горбов В.М., к.т.н., професор, завідувач кафедри судових та стаціонарних енергетичних установок	Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв



Горобець В.Г., д.т.н., с.н.с, завідувач кафедри теплоенергетики	Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ
Єрмоєнко А.П., старший викладач	Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв
Єнчев С.В., к.т.н., доцент	Національний авіаційний університет, м. Київ
Житаренко В.М., старший викладач кафедри суднових енергетичних установок	Азовський морський інститут Одеської національної морської академії, м. Маріуполь
Зайчук Н.П., к.т.н., доцент кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування	Луцький національний технічний університет
Зуєв С.В., аспірант кафедри безпеки життєдіяльності	Одеська національна морська академія
Імбірович Н.Ю., к.т.н., доцент кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування	Луцький національний технічний університет
Камишин В.В., к.т.н., директор	Інститут обдарованої дитини НАПН України, м. Київ
Касілов О.О., асистент кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки	Херсонська державна морська академія
Катеруша В.І., асистент кафедри судноводіння на морських і внутрішніх водних шляхах	Одеська національна морська академія
Кирилович В.А., к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій	Житомирський державний технологічний
Клапків М.Д., к.т.н., с.н.с. відділу корозійно-водневої деградації та захисту матеріалів	Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів
Колегаєв М.А., к.т.н., професор кафедри безпеки життєдіяльності	Одеська національна морська академія
Крючковський В.В., д.т.н., професор кафедри математичного моделювання	Херсонський національний технічний університет
Кудирко О.М., аспірант кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Леонов В.В., к.т.н., докторант кафедри теорії проектування суден	Одеський національний морський університет
Леонов В.Є., д.т.н., професор, завідувач кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища	Херсонська державна морська академія



Лисенко В.І., к.ф.-м.н., доцент кафедри природничо-наукової підготовки	Херсонська державна морська академія
Малахов О.В., д.ф.-м.н., професор кафедри теорії проектування суден	Одеський національний морський університет
Малигін Б.В., д.т.н., професор кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Маслов В.О., к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Маслов І.З., аспірант кафедри судових допоміжних механізмів	Одеська національна морська академія
Мельничук М.Д., д.т.н., професор, ректор	Житомирський державний технологічний університет
Мельничук П.П., к.т.н., доцент кафедри, заступник декана	Луцький національний технічний університет
Мирзоєв Б.М., керівник Головного центру	Головний центр Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS Азербайджанської Республіки, м. Баку
Мітенкова В.С., к.т.н., доцент кафедри суднових та стаціонарних енергетичних установок	Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв
Моргунов Р.С., аспірант кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій	Житомирський державний технологічний
Мухтаров П.Ш., старший викладач кафедри аеронавігації	Національна авіаційна академія Азербайджанської Республіки, м. Баку
Нарожний О.В., к.т.н., доцент кафедри природничо-наукової підготовки	Одеський національний політехнічний університет
Насіров Ш.Ш., керівник польотів	Головний центр Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS Азербайджанської Республіки, м. Баку
Настасенко В.О., к.т.н., доцент, професор кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Невиніцин А.М., к.т.н., доцент, декан факультету обслуговування повітряного руху	Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету



Нефьодов Л.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Носов П.С., к.т.н., доцент кафедри природничо-наукової підготовки	Одеський національний політехнічний університет
Пелевін Л.Є., к.т.н., професор, завідувач кафедри будівельних машин	Київський національний університет будівництва і архітектури
Передерій В.І., к.т.н., доцент	Миколаївський національний університет ім. В.О. Сухомлинського
Повстяной О.Ю., к.т.н., доцент кафедри комп'ютерного проектування верстатів та технологій машинобудування	Луцький національний технічний університет
Поляков В.О., к.т.н., старший науковий співробітник	Інститут транспортних систем та технологій Національної академії наук України, м. Дніпропетровськ
Присянок В.В., к.т.н., доцент кафедри суднових енергетичних установок	Азовський морський інститут Одеської національної морської академії, м. Маріуполь
Проценко В.О., к.т.н., доцент кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Рева О.М., д.т.н., професор кафедри автоматизації виробничих процесів; доктор технічних наук, професор	Кіровоградський національний технічний університет
Савоніна Н.А., магістрант	Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету
Самарін О.Є., к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Селіванов С.Є., д.т.н., професор, завідувач кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Смольянов А.П., аспірант	Херсонська державна морська академія
Соколов А.Є., к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій	Херсонський національний технічний університет
Соколова Н.А., д.т.н., професор, завідувач кафедри економічної кібернетики	Херсонський національний технічний університет



Старостін С.М., аспірант кафедри теорії проектування суден	Одеський національний морський університет
Тимофєєва А.С., магістр	Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв
Товкач С.С., аспірант	Національний авіаційний університет, м. Київ
Тригуб С.М., к.т.н., директор Морського коледжу	Херсонська державна морська академія
Трунова І.С., аспірант кафедри автомобільної електроніки	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Філіпщук О.М., к.т.н., доцент	Херсонська філія Національного університету кораблебудування
Хачапуридзе М.М., к.т.н., старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи	Інститут транспортних систем та технологій Національної академії наук України, м. Дніпропетровськ
Ходаков В.Є., д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційних технологій	Херсонський національний технічний університет
Шевченко В.В., к.т.н., професор, завідувач кафедри автоматики та електроустаткування	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Шевченко М.В., к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій	Херсонська філія Національного університету кораблебудування
Шкворец Н.О., аспірант	Херсонська державна морська академія
Шульгін В.А., к.т.н., декан факультету льотної експлуатації	Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету
Яковенко В.Д., к.т.н., доцент кафедри природничо-наукової підготовки	Одеський національний політехнічний університет



ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

А

Аржаєв Г.О., 132

Б

Балака М.М., 132
Барбашова М.В., 140
Батигін Ю.В., 104
Бендеберя Ф.А., 160
Бірюков Ю.Ю., 267
Бобир В.О., 4
Богдан Ю.О., 112
Бондаренко О.В., 13
Борсук С.П., 208
Буй Д.Т., 13

В

Василенко О.В., 132

Г

Гнатов А.В., 104
Голіков В.В., 21
Гончаренко А.В., 28
Горбов В.М., 35
Горобець В.Г., 112

Є

Єрмоєнко А.П., 249
Єнчев С.В., 216

Ж

Житаренко В.М., 54

З

Зайчук Н.П., 150
Зуєв С.В., 160

І

Імбирович Н.Ю., 150

К

Калинчак В.В., 195
Камишин В.В., 76
Касілов О.О., 155
Катеруша В.І., 4

Кирилович В.А., 225
Клапків М.Д., 150
Колегаєв М.А., 160
Крючковський В.В., 285
Кудирко О.М., 238

Л

Леонов В.В., 45
Леонов В.Є., 68
Лисенко В.І., 84

М

Малахов О.В., 45, 160
Малигін Б.В., 155
Мальцев С.Є., 21
Маслов В.О., 45, 160
Маслов І.З., 160
Мельничук М.Д., 165
Мельничук П.П., 225
Мирзоев Б.М., 90
Мишутин А.В., 171
Мітенкова В.С., 35
Моргунов Р.С., 225
Мухтаров П.Ш., 90

Н

Нарожний О.В., 233
Насіров Ш.Ш., 90
Настасенко В.О., 119
Невиніцин А.М., 267
Нефьодов Л.І., 238
Носов П.С., 245

П

Пелевін Л.Є., 132
Передерій В.І., 249
Повстяной О.Ю., 150
Покорний В.В., 295
Поляков В.О., 258
Просянок В.В., 45
Проценко В.О., 179

Р

Рева О.М., 90, 267

С

Савоніна Н.А., 267
Самарін О.Є., 185, 190
Селіванов С.Є., 195
Смольянов А.П., 276
Соколов А.Є., 97
Соколова Н.А., 276, 285
Спешилов В.М., 62
Старостін С.М., 45

Т

Тертичний А.А., 171
Тимофєєва А.С., 35
Товкач С.С., 216
Тригуб С.М., 195
Трунова І.С., 104

Ф

Філіпщук О.М., 295

Х

Хачапурідзе М.М., 258
Ходаков В.Є., 285

Ч

Черненко О.С., 195

Ш

Шевченко В.В., 295
Шевченко М.В., 238
Шинкевич Є.С., 171
Шкворець Н.О., 68
Шульгін В.А., 302

Я

Яковенко В.Д., 309



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 12 сторінок, включаючи всі матеріали, у т. ч. таблиці, рисунки, графіки та список літературних джерел. Сумарний обсяг рисунків і таблиць повинен бути менше 50% 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 (для іноземних учасників – держава) – курсивом, по центру, 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 2.0, 3.0. 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 в тексті. 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. і вставлені у файл і роздруківку статті. Формат рисунків (tif, psx, bmp тощо) повинен бути сумісний з редактором тексту Microsoft Word XP. Роздільна здатність рисунків – не менше 300 dpi. Рисунки можуть бути вставлені в текст за допомогою наступних команд:

- додати рисунок – Рисунок Microsoft Word;
- додати рисунок – Bitmap Image;
- додати рисунок – рисунок Corel Draw.

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 та вимогами, викладеними у Бюлетені ВАК України № 5 (2009).

Анотації українською, російською та англійською мовами обсягом від 30 до 100 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 інноваційних технологій ХДМА:

- Комп'ютерний варіант статті – файл, набраний у редакторі Microsoft| Word| 2000 for| Windows|. Машинописні рукописи не приймаються;
- файл кожного малюнка, включеного в статтю, окремо;
- рукопис статті (на паперовому носії), підписаний автором(ами) – 2 примірники.

Крім тексту статті автором(ами) надаються:

- коротка 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);
- відомості про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, вчений ступінь, вчене звання, місце роботи, посада, домашня або службова адреса, контактний телефон, e-mail (якщо є), наукові інтереси авторів) – 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 ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КОМАНДОЙ МОСТИКА <i>Бобир В.А., Катеруша В.И.</i>	4
ПРОВЕРКА ОСТОЙЧИВОСТИ СКОРОСТНЫХ АВТОПАССАЖИРСКИХ КАТАМАРАНОВ НА ЭТАПЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ <i>Буй Д.Т., Бондаренко А.В.</i>	13
АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЮСА ПОВОРОТА МОРСКОГО СУДНА <i>Голиков В.В., Мальцев С.Э.</i>	21
RATIONAL MODES OF OPERATION FOR A FOUR-ARM TILLER ELECTRO-HYDRAULIC STEERING GEAR WITH RESPECT TO MULTI-ALTERNATIVENESS AND PREFERENCES <i>Goncharenko A.V.</i>	28
ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СПОСОБІВ ОБРОБКИ БАЛАСТНИХ ВОД <i>Горбов В.М., Мітенкова В.С., Тимофєєва А.С.</i>	35
СПЕЦИФИКА УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ МНОГОФАЗНОГО ПОТОКА ПРИ ЕГО СЕПАРАЦИИ <i>Малахов А.В., Леонов В.В., Старостин С.Н., Маслов В.А.</i>	45
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО ТЕЛА СУДОВЫХ ТУРБОАГРЕГАТОВ <i>Присянок В.В., Житаренко В.М.</i>	54
МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЛИНИИ. СПОСОБЫ НАНЕСЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЛИНИИ НА КАРТЕ МЕРКАТОРСКОЙ ПРОЕКЦИИ <i>Спешилов В.М.</i>	62
АТТЕСТАЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ НА СУДНЕ – ПУТЬ К БЕЗОПАСНОМУ СУДОВОЖДЕНИЮ И ОХРАНЕ ТРУДА ЭКИПАЖА <i>Шкворец Н.О., Леонов В.Е.</i>	68
ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ	
СИСТЕМНА ІНДИВІДУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ АВІАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ <i>Камішин В.В.</i>	76



ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНО ЗНАЧИМИХ УМІНЬ ПРИ ВИВЧЕННІ КУРСУ «СФЕРИЧНА ТРИГОНОМЕТРИЯ» У ВНЗ МОРСЬКОГО ПРОФІЛЮ	84
---	-----------

Лисенко В.І.

РОЗРОБКА МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕДУР ДІАГНОСТИКИ І КОРЕКЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ СТРАТЕГІЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ АВІАДИСПЕТЧЕРАМИ	90
--	-----------

Рева О.М., Мирзоев Б.М., Насіров Ш.Ш., Мухтаров П.Ш.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІЙ ВИКЛАДАЧА ЯК ЕЛЕМЕНТУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ	97
---	-----------

Соколов А.Є.

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ. Часть 1. АКТУАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ НАПРАВЛЕНИЯ МИОМ. ПУТИ РЕШЕНИЯ	104
---	------------

Батыгин Ю.В., Гнатов А.В., Трунова И.С.

ОЦЕНКА ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАТОРОВ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ В КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	112
--	------------

Горобец В.Г., Богдан Ю.А.

СУЧАСНА СУДНОВА ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА І ОСОБЛИВОСТІ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЇЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	119
--	------------

Настасенко В.О.

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОЛЕСА З ПНЕВМАТИЧНОЮ ШИНОЮ НА ОПОРНІЙ ПОВЕРХНІ, ЩО ДЕФОРМУЄТЬСЯ	132
---	------------

Балака М.М., Пелевін Л.Є., Аржаєв Г.О., Василенко А.В.

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНО- ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	140
---	------------

Барбашова М.В.

ЗАХИСТ ВІД ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИМ ОКСИДУВАННЯМ	150
---	------------

Імбірович Н.Ю., Клапків М.Д., Повстяной О.Ю., Зайчук Н.П.



ПОВЫШЕНИЕ ТВЁРДОСТИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ЗА СЧЁТ ЖИДКОСТНОГО ЦИАНИРОВАНИЯ И ЗАКАЛКИ	155
<i>Касилов О.А., Малыгин Б.В.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛН УДАРНОГО ДАВЛЕНИЯ В СУДОВЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	160
<i>Коллегаев М.А., Зуев С.В., Маслов И.З., Малахов А.В., Бендеберя Ф.А., Маслов В.А.</i>	
ПОХИБКИ ТЕРМОПАРИ МІДЬ-КОНСТАНТАН ЗУМОВЛЕНІ ТЕМОУДАРАМИ	165
<i>Мельничук М.Д.</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И АДГЕЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТЫКОВ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛАВСООРУЖЕНИЙ	171
<i>Мишутин А.В., Шинкевич Е.С., Тертычный А.А.</i>	
ЕКСПЕРТИЗА ВІДМОВИ МУФТИ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ СУДНОВОЇ ГІДРАВЛІЧНОЇ РУЛЬОВОЇ МАШИНИ	179
<i>Проценко В.О.</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА У ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОМУ КОМБАЙНІ	185
<i>Самарін О.Є.</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ РІЗЬБОВОЇ ПАРИ З НАКАТНОЮ РІЗЬБОЮ	190
<i>Самарін О.Є.</i>	
ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА ЗАЖИГАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СТАЛЬНЫХ НАКАЛЕННЫХ ЧАСТИЦ ПАРОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ИМЕЮЩИХСЯ НА СУДНЕ	195
<i>Селиванов С.Е., Тригуб С.Н., Калинин В.В., Черненко А.С.</i>	
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	
СТОХАСТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЯВЛЕННЯ МОМЕНТУ ПРИПИНЕННЯ ТРЕНУВАНЬ АВІАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ	208
<i>Борсук С.П.</i>	
ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	216
<i>Єнчев С.В., Товкач С.С.</i>	
МЕТОДИЧНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СЕРВІСУ ДЛЯ ТІЛ ОБЕРТАННЯ	225
<i>Кирилович В.А., Мельничук П.П., Моргунов Р.С.</i>	
МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ КОММУНИКАЦИИ	233



И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Нарожный А.В.

**СИНТЕЗ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ДОБЫЧИ,
ПЕРЕРАБОТКИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ГАЗА** 238

Нефедов Л.И., Шевченко М.В., Кудырко О.Н., Василенко О.В.

**3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОРТОПЕДИЧЕСКОГО
КОРСЕТА В DELCAM POWERSHAPE-FEATURECAM** 245

Носов П.С.

**АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ
ПРИНЯТИЯ РЕЛЕВАНТНЫХ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ** 252

Передерий В.И., Еременко А.П.

**ДИНАМИКА ТЯГОВОЙ ПОДСИСТЕМЫ
МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА
(ПОЛЕВАЯ ПАРАДИГМА ИССЛЕДОВАНИЯ)** 258

Поляков В.А., Хачапуридзе Н.М.

**МЕТОДИ ТЕОРІЇ ГРАФІВ У СТРУКТУРНО-
ФУНКЦІОНАЛЬНОМУ АНАЛІЗІ ОРГАНІЗАЦІЇ
ДІЯЛЬНОСТІ ДИСПЕТЧЕРСЬКОЇ ЗМІНИ, ЯК
НЕВЕЛИКОЇ ГРУПИ АВІАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ** 267

Рева О.М., Невиніцин А.М., Бірюков Ю.Ю., Савонина Н.А.

**АНАЛІЗ ТА ФОРМАЛІЗОВАНИЙ ОПИС ЗБУРЮЮЧИХ
ВПЛИВІВ НА СУДНО ПРИ ЙОГО ДИНАМІЧНОМУ
ПОЗИЦІОНУВАННІ** 276

Соколова Н.А., Смольянов А.П.

**ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНИВАНИЯ РАЗВИТИЯ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ** 285

Ходаков В.Е., Соколова Н.А., Крючковский В.В.

**ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОДІАЛІЗНОГО ПРОЦЕСУ
ОПРІСНЕННЯ ТА ВИБІР МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ** 295

Шевченко В.В., Філіпчук О.М., Покорний В.В.

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОФЕСІЙНОЇ 302



ДІЯЛЬНОСТІ ІНСТРУКТОРА АВІАЦІЙНОГО ТРЕНАЖЕРА

Шульгін В.А.

**ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ РІВНЯ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ЗНАНЬ
ЗА ДОПОМОГОЮ МАРКІВСЬКОЇ МОДЕЛІ** 309

Яковенко В.Д.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ 315

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК 320

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ 321



ДЛЯ НОТАТОК



ДЛЯ НОТАТОК



ДЛЯ НОТАТОК

Науковий журнал

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

№ 1 (8), 2013

Відповідальний за випуск *Врублевський Р.Є.*
Технічний редактор *Клементьєва О.Ю.*
Коректор *Надточій К.О.*
Друк, фальцювальні-палітурні роботи *Удов В.Г.*

Підписано до друку 26.07.2013. Формат 84×108/32.
Папір офсетний. Друк цифровий.
Ум. друк. арк. 29,0. Наклад 100 прим.

Видавництво ХДМА
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4312 від 10.05.2012
73000, м. Херсон, пр. Ушакова, 20, к. 224
тел. (0552) 44-25-24