

# ВІСНИК



ОДЕСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ

56

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**ВІСНИК  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Збірник наукових праць*

**ВИПУСК 3 (56)**

*Заснований у червні 1997 року*

**Одеса – 2018**

ОДЕСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№ 3 (56)  
2018

Заснований у червні 1997 року

Виходить 4 рази на рік

Свідоцтво Міністерства юстиції України  
про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
Серія КВ № 17536-6286 Р від 11.02.2011 р.

УДК 629.12.002(082) Збірник включено до переліку наукових фахових видань України,  
в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт  
на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук  
(Наказ Міністерства освіти і науки України № 820 від 11.07.16)

Засновник і видавець:  
внз «Одеський національний морський університет»  
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34

Редакційна колегія:  
д-р техн. наук, проф. *С.В. Руденко* – відп. редактор  
канд. техн. наук, доц. *О.В. Демідюк* – заст. відп. редактора  
*Г.І. Силакова* – відповід. секретар

д-р фіз.-мат. наук, проф.	<i>Андронов І.І.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Івановський В.Г.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Вассерман О.А.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Іванченко О.О. (Росія)</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Гришин В.О.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Козляков В.В.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Гришин А.В.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Коростильов Л.І.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Дубровський М.П.</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Лакіна І.О.</i>
д-р техн. наук	<i>Дульнев О.І. (Росія)</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Махуренко Г.С.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Єгоров Г.В.</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Постан М.Я.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Єзупов К.В.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Яровенко В.О.</i>

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Одеського національного морського університету  
(протокол № 6 від 19 грудня 2018 р.)

Відповідальність за достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв,  
назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей.

Висловлені у цих статтях думки можуть не збігатися  
з точкою зору редакційної колегії, не покладають на неї ніяких зобов'язань.  
Передруки і переклади дозволяються лише за згодою автора та редакції.

© Вісник Одеського національного морського університету, 2018

З М І С Т

**ТЕОРІЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ КОРАБЛЯ**

<b>Егоров Г.В., Тонюк В.И.</b> Обоснование концепта «сверхполного» сухогрузного судна смешанного плавания проекта RSD59 .....	5
<b>Егоров А.Г.</b> Круизный пассажирский флот: анализ и тенденции	26
<b>Ефремова Н.В., Нильва А.Е.</b> Оценка точности определения характеристик погруженного объема судна порожнем для судов смешанного река-море плавания .....	48
<b>Котовская Н.Н.</b> Определение основных характеристик морских нефтехимовозов дедвейтом свыше 10000 тонн в первом приближении .....	59

**ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ**

<b>Вассерман А.А.</b> Учёт процесса дросселирования в цикле комбинированного двигателя .....	74
--	----

**ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ,  
ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

<b>Лапкіна І.О., Малаксіано М.О., Савченко Є.С.</b> Проектування та оптимізація транспортних систем з використанням методів імітаційного моделювання .....	80
<b>Дрожжин О.Л., Шibaєв О.Г., Онищенко С.П.</b> Модель взаємозв'язку параметрів системи фідерного обслуговування контейнеропотоків і зовнішнього середовища	92
<b>Король В.Ю.</b> Система доставки вантажу: логічна характеристика поняття і його дефініція .....	102
<b>Акимова О.В., Мельник А.Н.</b> Организационные аспекты перевозки проектных грузов	123

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ**

<b>Нещерет В.И., Панченко Т.Д., Стародуб В.И.</b> Концепция программного движения в задаче управления летательным аппаратом .....	135
---	-----



З М І С Т

---

**УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ ТА ПРОГРАМАМИ**

<b>Руденко С.В., Ковтун Т.А.</b> Новый путь решения экологических проблем Китая – создание экологической цивилизации .....	145
<b>Чернова Л.С.</b> Концептуальні особливості управління інноваційними проектами	156
<b>Леонтьева А.И., Онищенко С.П.</b> Оптимизация состава программы технического развития предприятия на базе концепции «образа программы» .....	162

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА**

<b>Доронін В.В., Алейніков В.М., Спіян О.М.</b> Структурні перетворення об'єктів зовнішнього середовища в умовах річкової e-навігації .....	175
---	-----

**ПРОЕКТУВАННЯ ТА МЦНІСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

<b>Коноплёв А.В., Кононова О.Н., Кибаков А.Г.</b> Уточнение коэффициента относительной долговечности для объектов с низкими пределами выносливости	197
<b>Коноплёв А.В., Греченко П.И., Чередарчук Н.И., Сологуб В.О.</b> О точках перелома кривых усталости, выраженных степенным и показательным уравнениями .....	206

УДК 629.5.01

**ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПТА «СВЕРХПОЛНОГО»  
СУХОГРУЗНОГО СУДНА СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ ПРОЕКТА RSD59**

**Г.В. Егоров**

д.т.н., профессор, генеральный директор

**В.И. Тонюк**

к.т.н., доцент, технический директор

*Морское Инженерное Бюро, г. Одесса*

***Аннотация.** Обоснованы главные характеристики сухогрузных судов «Волго-Дон макс» класса проекта RSD59 типа «Пола Макария». Показано, что построенные в 2018 году шесть таких «сверхполных» многоцелевых судов проекта RSD59 не имеют аналогов в мире и существенно по своим технико-экономическим параметрам лучше всех имеющихся на отечественном рынке судов.*

***Ключевые слова:** сухогрузное судно, судно смешанного река-море плавания, негабаритные грузы, проектирование, основные характеристики, путевые условия, пропульсивный комплекс, коэффициент полноты, экономика.*

**ОБГРУНТУВАННЯ КОНЦЕПТУ «НАДПОВНОГО»  
СУХОВАНТАЖНОГО СУДНА ЗМІШАНОГО ПЛАВАННЯ ПРОЕКТУ RSD59**

**Г.В. Єгоров**

д.т.н., професор, генеральний директор

**В.І. Тонюк**

к.т.н., доцент, генеральний директор

*Морське Інженерне Бюро, м. Одеса*

***Анотація.** Обґрунтовано головні характеристики суховантажних суден «Волго-Дон макс» класу проекту RSD59 типу «Пола Макарія». Показано, що побудовані в 2018 році шість таких «надповних» багатопільових суден проекту RSD59 не мають аналогів у світі й суттєво за своїми техніко-економічними параметрами краще всіх наявних на вітчизняному ринку суден.*

***Ключові слова:** суховантажне судно, судно змішаного ріка-море плавання, негабаритні вантажі, проектування, основні характеристики, умови умови, пропульсивний комплекс, коефіцієнт повноти, економіка.*

**JUSTIFICATION OF THE SUPERFINED CONCEPT  
DRY LOAD BOAT MIXED SWIMMING PROJECT RSD59**

**G.V. Egorov**

Doctor of technical sciences, professor, general director

**V.I. Tonyuk**

Ph.D., Associate Professor, Technical Director

*Marine Engineering Bureau, Odessa*

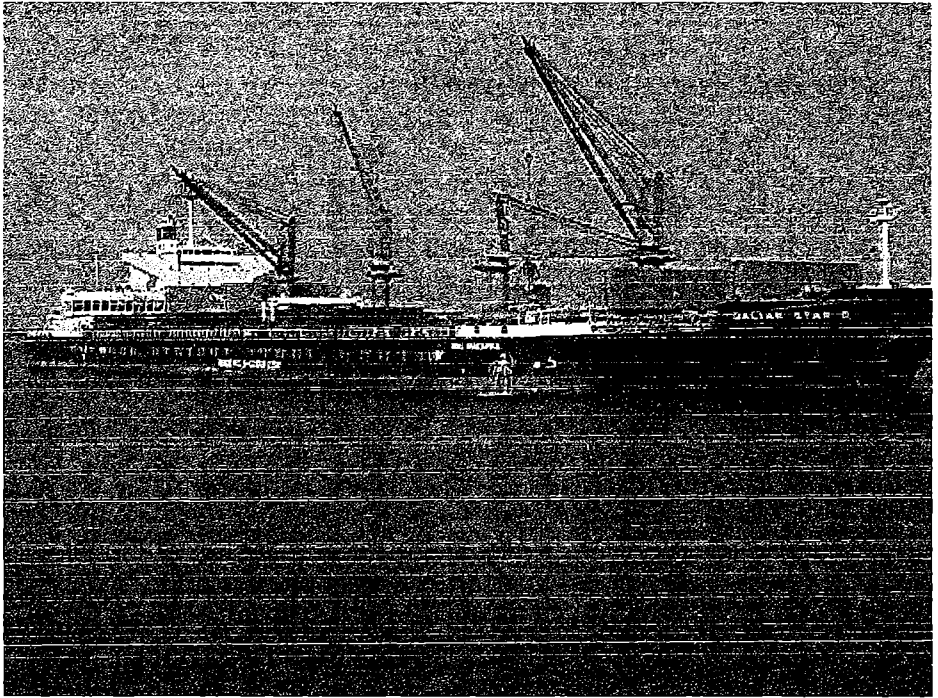
***Abstract.** Main characteristics of RSD59 dry-cargo vessels of «Volgo-Don max» class of «Pola Makaria» type are grounded. It is shown that six such RSD59 «superfull» multi-purpose vessels built in 2018 have no analogues in the world and significantly in technical and economic parameters better than all available vessels on native market.*

***Keywords:** dry-cargo vessel, river-sea vessel, oversized cargoes, design, main characteristics, way conditions, propulsion complex, block coefficient, economy.*

**Постановка проблеми.** Всегда интересно сравнивать работу судов разных проектов в одних и тех же условиях. Это позволяет достаточно объективно увидеть их отличия. Можно вспомнить, как винтовой фрегат «Принстон» на испытаниях отбуксировал своего колесного собрата «Грейт Уэстерн». В условиях одной и той же линии, одинаковых путевых условиях и на одном и том же грузе работают сухогрузное судно проекта RSD49, спроектированное на основе обводов классической танкерной серии Бюро типа «Армада», и «сверхполное» сухогрузное судно проекта RSD59, выполненное на основе корпуса танкера RST27. При этом RSD59 по своим характеристикам (в особенности, по грузоподъемности и управляемости) намного превзошел своего предшественника (см. рисунок 1).

**Целью статьи** является обоснование Морским Инженерным Бюро параметров и особенностей многоцелевых сухогрузных судов «Волго-Дон макс» класса новой (2018 года) серии проекта RSD59 типа «Пола Макария».

**Почему «Волго-Дон макс» класс?** 62 % от общего количества новых (построенных в XXI веке) грузовых самоходных судов смешанного река-море и внутреннего плавания, а также морских ограниченных районов плавания, являются суда «Волго-Дон макс» класса – суда, отвечающие габаритам Волго-Донского судоходного канала (ВДСК) и предназначенные для замены известных советских серий «Волгонетей» и «Волго-Донов», т.е. универсальные по своим размерам суда для работы на европейской части внутренних водных путей России.



*Рис. 1. Судно Пола Макария в работе*

Они имеют максимально возможную для характеристической в реке осадки 3,60 м грузоподъемность около 4700-5500 тонн, при этом грузоподъемность при максимальной осадке составляет около 7000-8000 тонн. Удовлетворение габаритам ВДСК позволяет использовать такие суда практически по всей единой глубоководной системе внутренних водных путей (ЕГСВВП) бывшего СССР.

При этом сухогрузных судов «Волго-Дон макс» класса было поставлено 58 единиц. Из них 53 по проектам Морского Инженерного Бюро – это известные серии типа «Гейдар Алиев» проекта 006RSD05 [1], типа «Нева-Лидер» проекта RSD49 [7], типа «Хазар» проекта RSD19 [2], «Танаис» проекта 006RSD02 и «Меровинг» проекта 007RSD07 [3], спроектированные на основе обводов классической танкерной серии Бюро типа «Армада». Помимо сухогрузных аналогов «Армад» в классе «Волго-Дон макс» были построены суда типа «Герои Сталинграда» проекта RSD44 [6] и типа «Челси» проекта 005RSD06 [4].

21 судно «Волго-Дон макс» класса находится на разных стадиях строительства на заводах. В ближайшие год-два новых сухогрузных судов этого класса будет уже около 80.

Конкурентами нового флота, безусловно, являются суда «советской» постройки. Сейчас в работе находятся примерно 879 единиц, построенных до 1999 года сухогрузных самоходных судов смешанного,

внутреннего и ограниченного морского плавания самых известных серий со средним возрастом 37,6 лет (из них с флагом России – 645). В отстое 151 судно со средним возрастом 41,2 года.

Анализ статистических закономерностей списания флота показал, что на 2020 год будет в работе примерно 623 судна, на 2025 год – примерно 276 самоходных сухогрузных судов классических серий, построенных до 2000 года или 32 % от сегодняшнего уровня.

Таким образом, к 2022 году можно ожидать существенное снижение предложения флота сухогрузных судов смешанного река-море и ограниченного морского плавания и, соответственно, рост ставок на перевозки грузов, примерно в два раза (оценка ТЧЭ на 2022 год составляет примерно 9-10 тыс. долларов), что вполне обоснованно позволяет финансировать постройку новых судов этого типа сейчас.

При этом активнее всего списываются суда – «трехтысячники» («Волго-Балты», «Сормовские») со средним возрастом при списании 37,1 год, а также «двухтысячники» (списано 108 из 141 или 77 % со средним возрастом при списании 36,7 лет) и типа СТ, СТК (списано 54 из 163 или 33 % со средним возрастом при списании 26,7 лет!!!).

На сегодняшний день из 119 сухогрузных судов типа «Волго-Дон» проектов 507, 507А, 507Б (строились в 1960-1980 годах) списано 39 % – 46, причем 4 были потеряны в катастрофах, а сданы на металлолом 42 со средним возрастом 37,8 лет. Основной график списания судов имеет линейный характер. Суда сейчас работают, как правило, на реке. Однако в 2017 году было списано сразу 9 судов, что является признаком физического старения корпуса, так как сам тип таких судов востребован на рынке.

Из 108 сухогрузных судов типа «Волго-Дон» проекта 1565 (строились в 1968-1990 годах) списано 17 % – 18, причем 5 были потеряны в катастрофах, а сданы на металлолом 13 со средним возрастом 34,7 года.

**Сухогрузные суда типа «Волго-Дон» / «Волжский» списываются только обоснованно по техническим причинам, что говорит об их востребованности рынком.**

В целом, суда типа «Волго-Дон» / «Волжский» были и есть «рабочими лошадками» отечественного водного транспорта, успешно обеспечивая перевозку значительной части навалочных грузов, в том числе экспортных, на рейдовые перевалочные комплексы. До появления в 2010 году судов проекта RSD44 [6], они были самыми большими в мире речными сухогрузными судами и полностью соответствовали поставленным при проектировании задачам.

Однако, средний возраст находящихся в работе сухогрузных судов типа «Волго-Дон» проекта 1565 уже составляет 39,5 лет, проектов 507, 507А, 507Б – 42 года, проекта 05074 – 27,2 года.

Безусловно, такой солидный возраст для грузовых судов, активно эксплуатирующихся, как в морских ограниченных районах, так и на

внутренних водных путях, не может не оказать влияние на надежность их корпусов, устройств, систем и, соответственно, не раз уже приводил к авариям.

Если не брать во внимание нарастающие проблемы в техническом состоянии, то исходя из статистически определенных закономерностей списания по каждому проекту, то из 179 сухогрузных судов типа «Волго-Дон» / «Волжский» к 2020 году останется 148, к 2025 году – 97 (см. таблицу 1).

*Таблица 1*

*Прогноз выбытия судов типа «Волго-Дон» / «Волжский»*

Проект	Прогнозируемый год выбытия серии	Остаточный ресурс, лет	Кол-во действующих судов на 2017 г., ед.	Прогноз количества судов на 2020 г., ед.	Прогноз количества судов на 2025 г., ед.
Волго-Дон (пр. 507А, 507Б)	2030	13,0	51	38	14
Волго-Дон (пр. 1565)	2034	17,0	81	70	56
Волжский (пр. 05074)	2036	19,0	47	40	27
Всего			179	148	97

Однако, скорее всего, эти оценки являются весьма оптимистичными, так как потребуются значительное увеличение финансирования ремонта этих судов, включая замены машин и механизмов, что пока еще не делается.

С учетом того, что суда-«трехтысячники» списываются еще быстрее, то для сохранения существующего грузооборота требуются новые сухогрузные суда, в первую очередь «Волго-Дон макс» класса, как имеющие большую грузоподъемность.

Инновации – «сверхполнота». Сегодня наиболее заметным явлением в воднотранспортной отрасли является массовая постройка необычных для всей практики мирового судостроения «сверхполных» танкеров смешанного река-море плавания проекта RST27 и созданных на их базе комбинированных судов (танкеров-площадок) проекта RST54, танкеров – химвозов проектов RST27M и RST12C [5; 10].

Действительно, трудно не заметить, как с 2012 года были поставлены 54 судна этих проектов. Такие темпы и такая массовая серия были характерны для лучших периодов советского судостроения и это, конечно, очень достойное сравнение для сегодняшних российских верфей.

Британское Королевское общество корабельных инженеров RINA в число лучших судов года в мире дважды включало проект «сверх-

полного» судна RST27 (Significant Ships of 2012 и Significant Ships of 2013), что само по себе случается очень редко, в 2014 году проект RST54 (Significant Ships of 2014), и в 2017 году проект RST27M (Significant Ships of 2017).

В 2010 году теоретически было доказано, что для типичных для судна смешанного река-море плавания скоростях 10 узлов влияние коэффициента полноты (для диапазона 0,88-0,93) незначительно [5]. Вывод был принципиально важен и означал, что можно увеличивать коэффициент общей полноты для судов смешанного река-море плавания до 0,932. Это и позволило дать «старт» для проекта RST27 – танкера «Волго-Дон макс класса» со «сверхполными» обводами, цилиндрической средней частью, бульбообразной носовой оконечностью и с двумя винтами фиксированного шага в насадках (полноповоротные ВПК в полутоннелях) [10].

И это было не случайно, так как экономика перевозки нефтепродуктов на судах смешанного река-море плавания примерно до 2016 года была существенно лучше, чем на сухогрузах. Косвенно, это подтверждается тем, что новых танкеров «Волго-Дон макс» класса было построено 161 судно (в 2,8 раза больше !!!).

Судно «Пола Макария» (проекта RSD59) было первым сухогрузным судном, которое получило «сверхполные» обводы (см. рис. 2).

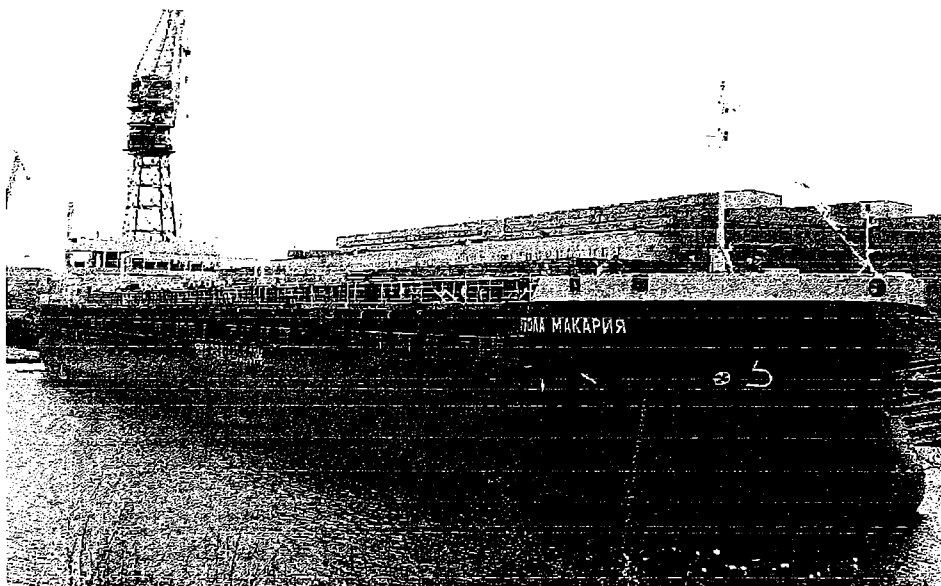
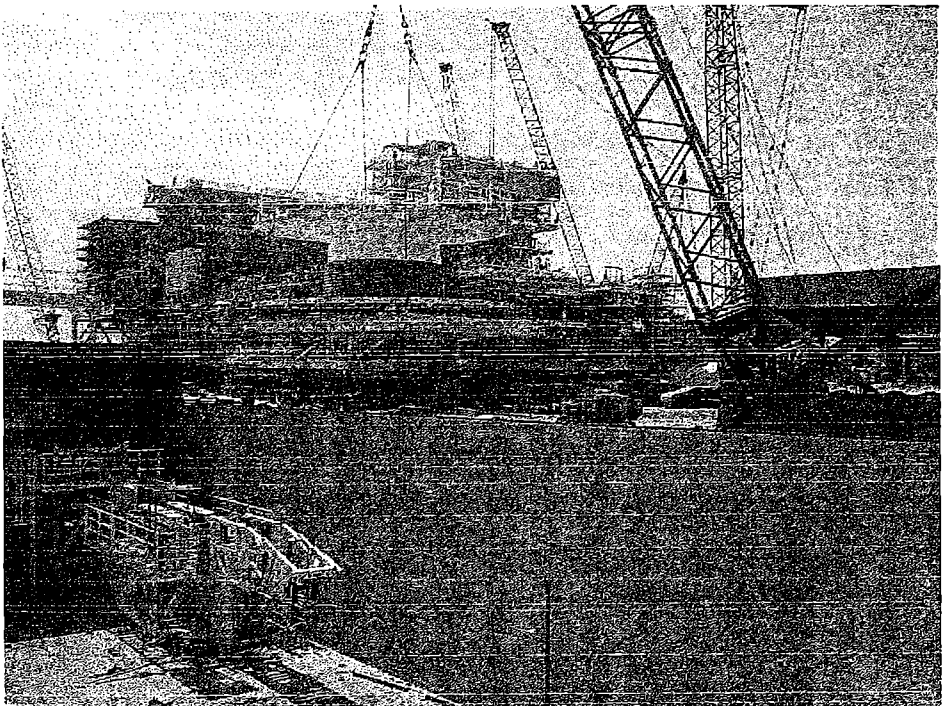


Рис. 2. Сверхполный корпус судна проекта RSD59 после спуска

В итоге, новый проект RSD59 (на примере серийного судна «Пола Фива») по сравнению с лучшим из ранее построенных сухогрузов «Волго-Дон макс» класса проекта RSD49 [7] получил:

- дедвейт в реке при осадке 3,60 м 5320 тонн (у проекта RSD49 – 4507 тонн), что больше на 813 тонн;
- дедвейт при осадке 4,20 м 6944 тонн (у проекта RSD49 – 6021 тонна), что больше на 923 тонны;
- дедвейт при максимальной осадке 4,706 м 8144 тонн (у проекта RSD49 при максимальной осадке 4,70 м 7143 тонны), что больше на 1000 тонн.

**«Длинный» трюм.** Известная волатильность фрахта на сухогрузном рынке подвигла судовладельцев использовать все возможные способы увеличения доходности от работы судов. Особое место при этом отводится нестандартным, негабаритным грузам [9]. Можно сказать, что именно такие «немассовые» грузы, появление которых на рынке происходит сугубо по своим законам, заметно улучшают экономические показатели современных сухогрузных судов, таких как, например, «Каспиан Экспрессы» проекта 003RSD04 с одним трюмом длиной 59 метров (см. рисунок 3) и «Нева-Лидер» проекта RSD49 со вторым (из трех) трюмом длиной 52 метра.



*Рис. 3. Трюм для негабаритных грузов*



Крупногабаритные тяжеловесные грузы (КТГ) – это все грузы, превышающие габариты, допустимые для перевозки по железной дороге или (и) имеющие массу более 35 тонн, КТГ представляют собой плавсредства, тяжелую технику, самолеты, турбины, генераторы, двигатели, реакторы, элементы промышленного оборудования, элементы буровых платформ, цистерны, трубы большого диаметра, кабельные барабаны и другие нестандартные продукты машиностроения и строительные конструкции, иногда совершенно уникальные, такие как основания для памятников и сами памятники.

Например, семь многоцелевых сухогрузных судов проекта RSD49 типа «Нева-Лидер» Северо-Западного пароходства с конца 2012 года выполнили 14 рейсов с негабаритным оборудованием, а в период с января по сентябрь 2014 года – 7 отправок оборудования из портов Южной и Северной Европы на Каспий, Поволжье, Санкт-Петербург.

Преимуществом проекта RSD49 стал новый сухогрузный проект RSD59, который выполнен в «сверхполных» обводах уже с двумя сухогрузными трюмами, один из которых имеет рекордную для «Волго-Дон макса» длину 77 метров.

Преимущества проекта RSD59 (см. рисунки 4 и 5):

- наличие длинного трюма  $L = 77,35$  м (на судне проекта RSD49  $L = 52$  м), позволяющего перевозить КТГ, что актуально для рынка стран Каспийского региона;

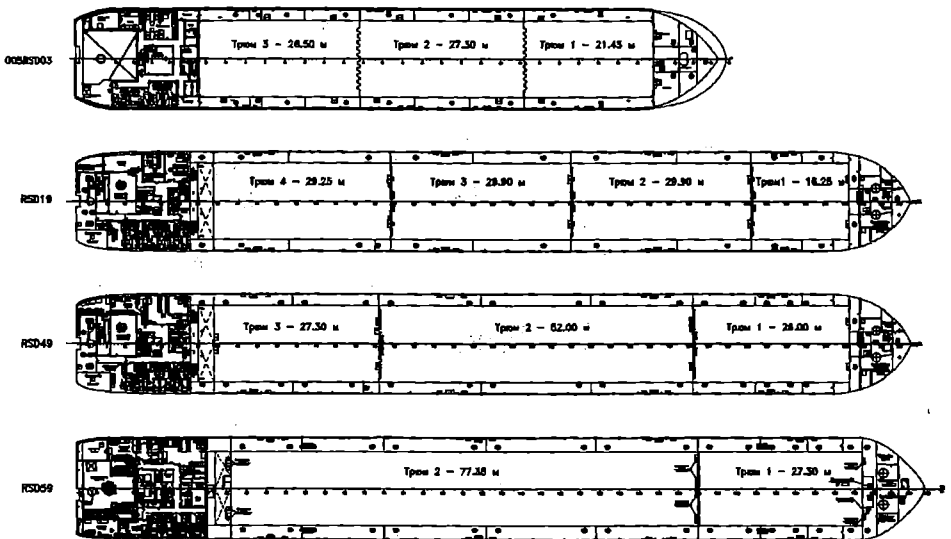
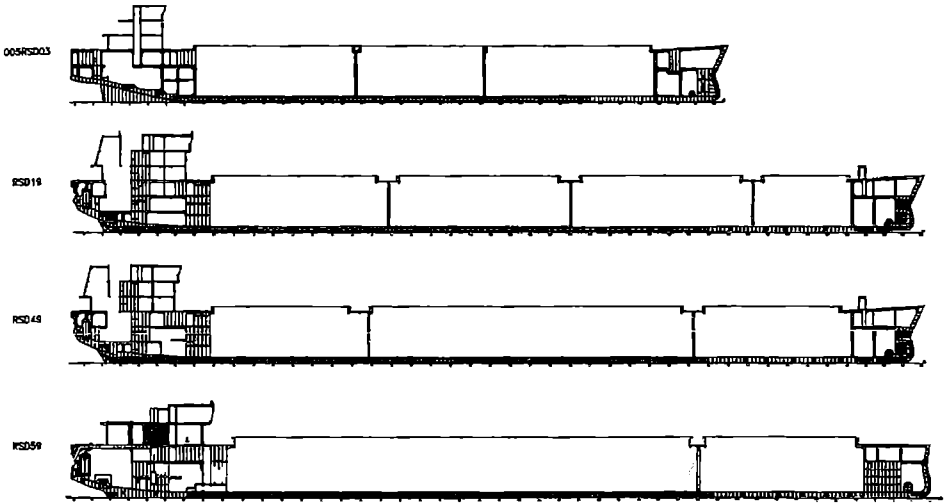


Рис. 4. Изменение длин трюмов на новых судах проекта «Морского инженерного бюро» (от 27,3 м до 77,35 м) (вид сверху)



*Рис. 5. Изменение компоновки трюмов на новых судах проекта «Морского инженерного бюро» (вид сбоку)*

- высота трюма больше на 620 мм (9000 мм), чем на судне проекта RSD49, что позволяет перевозить контейнеры высотой до 9,6 футов – «high cube containers» (3 таких контейнера в высоту);

- длинный трюм позволяет перевозить генеральные грузы с минимальными потерями площади, и соответственно лучше использовать объем трюма.

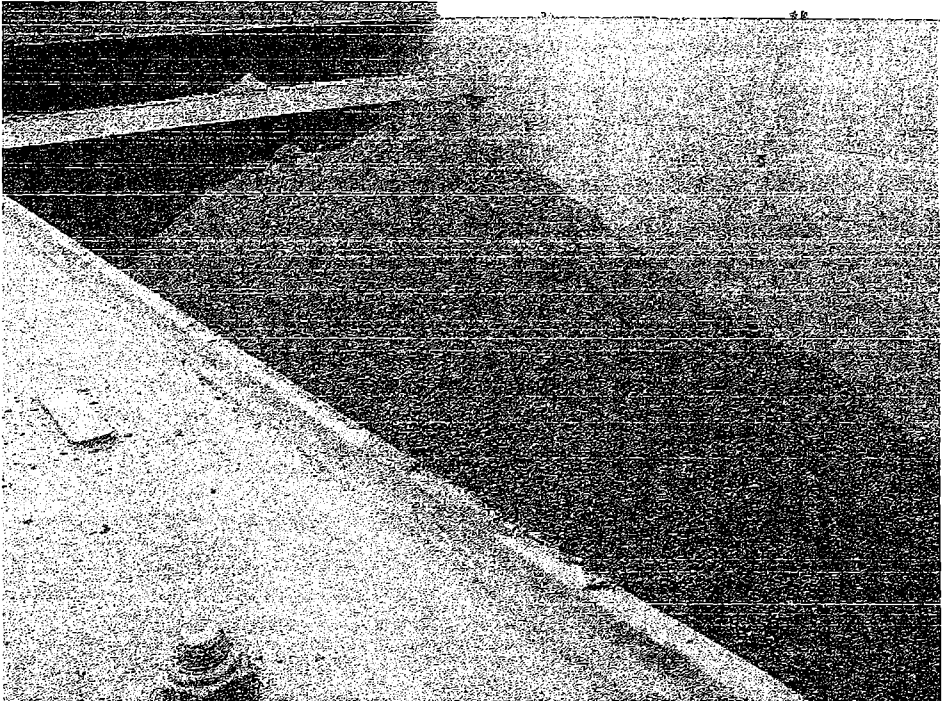
**Перевозка зерна и других грузов.** Суда серии RSD59 могут использоваться для транспортировки генеральных, навалочных, контейнерных, лесных, зерновых и крупногабаритных грузов, опасных грузов классов 1.4S, 2, 3, 4, 5, 6.1, 8, 9 МК МПОГ и Приложения В Кодекса ВС в Каспийском море, а также в Средиземном, Черном, Балтийском, Белом, Северном морях, включая рейсы вокруг Европы и в Ирландское море зимой.

Вместимость грузовых трюмов 11292 куб. м. Оба трюма выполнены ящичной формы, гладкостенные, удобные для проведения грузовых работ и размещения груза без штивки. Размеры: длина х ширина х высота 77,35 х 12,24 х 9,0 м (см. рисунок 6) и 27,03 х 12,24 х 9,0 м.

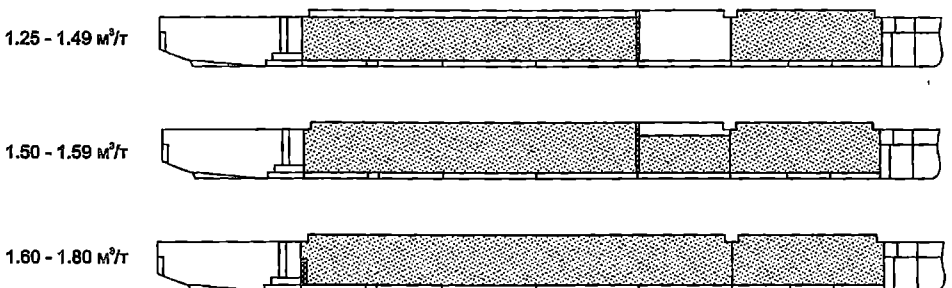
Для перевозки сухих грузов, опасных сухим смещением, например, зерновых, применяется всего лишь одна съёмная переборка (см. рисунок 7). Местоположение этого устройства было определено моделированием загрузок зерном, с целью минимизации количества переборок (на других судах такого типа требуются, как правило, не одна, а две съёмные переборки) и уменьшением прогиба с выполнением требований по остойчивости при перевозке зерна.

**Люковые закрытия съемного типа.** Новый концепт учитывал накопленный опыт применения других проектов Бюро, таких как суда типа «Карелия» проекта 005RSD03 [8], «Меровинг» проекта 007RSD07 [3].

Поэтому были установлены люковые закрытия съемного типа. Открывание и закрывание каждой секции осуществляется при помощи специального козлового крана, который по-походному располагается в районе носовой переборки жилой надстройки.

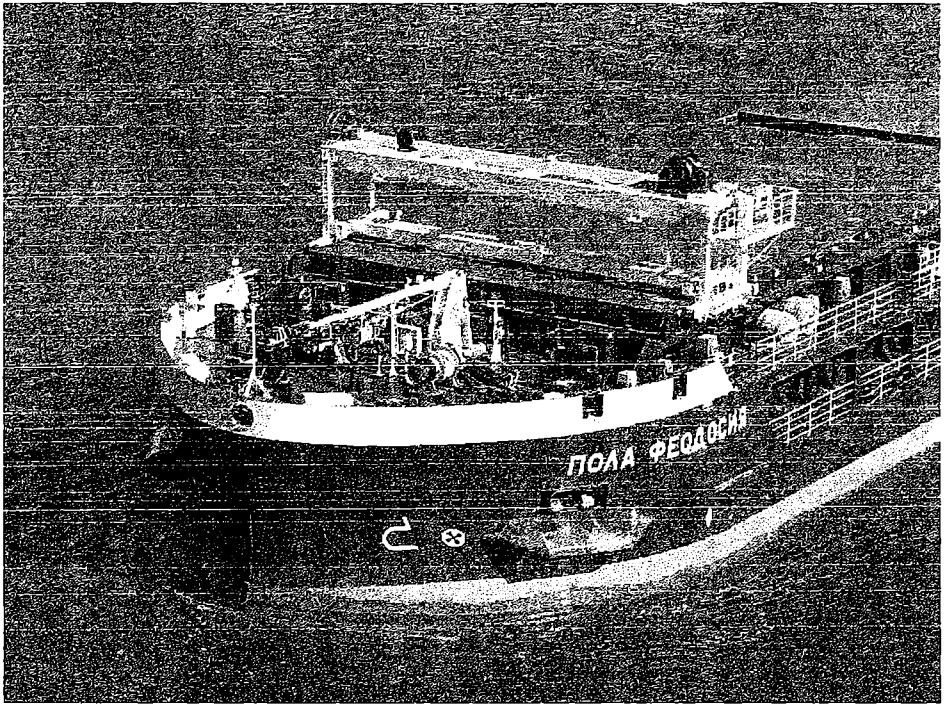


*Рис. 6. Погрузка груза в длинный трюм судна проекта RSD59*



*Рис. 7. Схема размещения смещаемого груза на судне проекта RSD59 в зависимости от удельного погрузочного объема (УПО) зерна*

Применение такого типа люковых закрытий позволило снизить их массу и строительную стоимость, упростить применение и техническую эксплуатацию (см. рисунок 8).



*Рис. 8. Кран и люковые закрытия. Автор фото – Георгий Мешков*

Как показал опыт работы новых судов проекта RSD59, подобные люковые закрытия позволяют открывать ту часть грузового пространства, которая необходима именно в текущий момент (это важно при работе, например, с зерном, в условиях переменной погоды). Кроме того, съемные люковые закрытия вполне работоспособны в условиях рейдовых перевалочных комплексов, что успешно продемонстрировало головное судно (см. рисунок 1).

Прочность люковых закрытий достаточна для размещения на них лесных грузов или одного яруса контейнеров максимальной массы.

**Винто-рулевые колонки (ВРК).** Движение и управляемость обеспечиваются двумя полноповоротными ВРК (см. рисунок 9, лучше маневренность в узкостях и при наличии сложных условий швартовки – см. введение в статью).

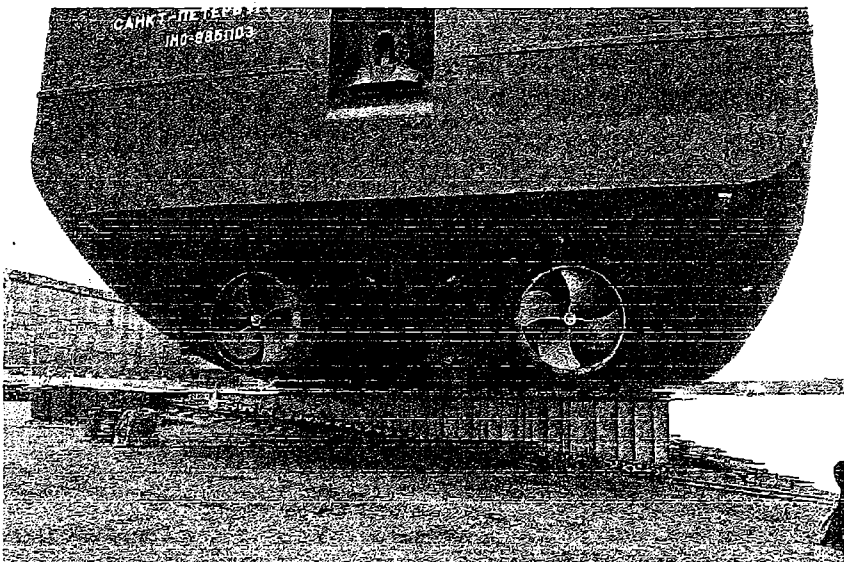


Рис. 9. Полноповоротные винто-рулевые колонки на судне проекта RSD59

На рисунке 10 изображён манёвр циркуляции:

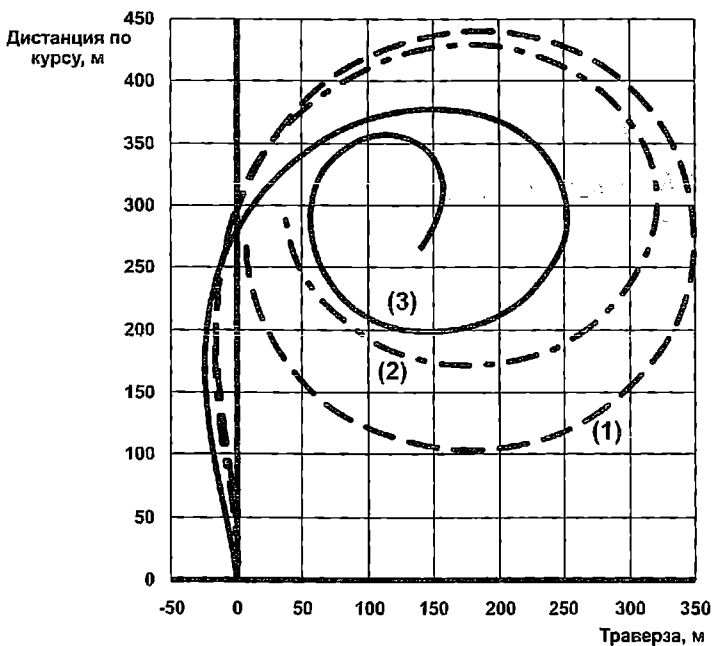


Рис. 10. Манёвр «Циркуляция» – сравнение судов «Волго-Дон макс» класса с обычной пропульсией и рулями (кривая 1) и с ВРК (кривые 2 – при развороте обеих ВРК на  $35^\circ$  и 3 – при развороте одной ВРК на  $45^\circ$ , а второй на  $90^\circ$ )

- сухогруз с обычной пропульсией при перекладке рулей на  $35^\circ$  (кривая 1);
- сухогруз нового типа при развороте обеих ВРК на  $35^\circ$  (кривая 2);
- сухогруз нового типа при развороте одной ВРК на  $45^\circ$ , а второй на  $90^\circ$  (кривая 3).

Кривые отражают траектории движения судов во время маневренных испытаний. Испытания проводились в балласте.

Как видно при развороте ВРК на большие углы, обеспечивается лучшая маневренность судна. По мере снижения скорости движения судна преимущество ВРК возрастает, вплоть до самого малого хода ( $< 3$  уз.), когда судно с рулями становится практически неуправляемым, а ВРК позволяют осуществить разворот судна на месте.

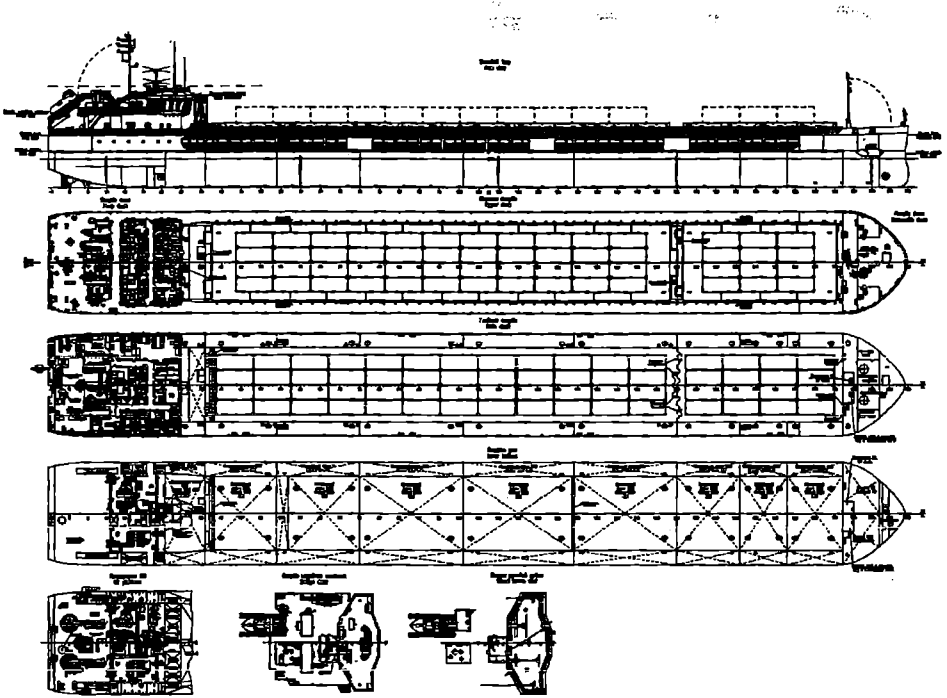
Особенно эффективно использование ВРК при эксплуатации судна на внутренних водных путях, когда при прохождении узкостей и многочисленных поворотов реки судно не может двигаться с максимальной скоростью и эффективность рулей падает, что приводит к необходимости ещё больше снижать скорость. При этом судно, оборудованное ВРК, может пройти тот же самый участок пути за меньшее время.

**Краткое описание.** Архитектурно-конструктивный тип судна проекта RSD59 – стальной однопалубный, двухтрюмный теплоход, с двумя полноповоротными винто-рулевыми колонками, с баком и ютом, с кормовым расположением жилой рубки и машинного отделения, с двойным дном высотой 980 мм и двойными бортами шириной 2330 мм в районе грузовых трюмов, с цилиндрической носовой и транцевой кормовой оконечностью с полутоннелями и скегом, с люковыми закрытиями съёмного типа, с носовым подруливающим устройством (см. рисунок 11).

Теоретический корпус судна имеет цилиндрическую вставку протяженностью 0,68 L. Специальная форма кормовой оконечности оптимизирована под размещение ВРК. Движение и управляемость судна обеспечивается двумя кормовыми полноповоротными ВРК с винтами фиксированного шага диаметром 1900 мм в насадках. Привод к ВРК от главных дизелей осуществляется через механическую Z-передачу.

В носовой оконечности с высоким и развитым по длине баком расположены форпик, шахта лага и эхолота, шкиперская, станция гидравлики, малярная, палубная кладовая, а также носовое подруливающее устройство мощностью 230 кВт.

В кормовой оконечности судна расположены МО и развитая высокая надстройка юта. Двухрусная кормовая рубка со служебными и жилыми помещениями для размещения экипажа численностью 11 чел. (14 мест + лоцман) спроектирована с учетом обеспечения ограниченного надводного габарита судна (13,8 м при осадке 3,00 м).



*Рис. 11. Общее расположение многоцелевого сухогрузного судна проекта RSD59*

Применение продольной системы набора палуб, бортов и днища в средней части в сочетании с увеличением поперечной шпации и одновременном уменьшении шпации продольного набора обеспечило более полное участие пластин корпуса в общем изгибе и лучшее восприятие локальных нагрузок при швартовках, сохранение приемлемого внешнего вида.

Расчетный срок службы корпуса судна 24 года. В качестве материала основных конструкций корпуса применяется судостроительная сталь категорий РСД32 и РСА. Верхняя часть непрерывных продольных комингсов люков и верхняя палуба выполняются из судостроительной стали категории РСД40 с пределом текучести 395 МПа. Элементы конструкций палуб бака и юта, жилая надстройка выполняются из стали категории РСА.

Корпус судна спроектирован на класс Ice 2, который предполагает регулярное круглогодичное плавание в замерзающих неарктических морях (самостоятельное плавание в мелкобитом разреженном льду толщиной 0,55 м со скоростью 5 узлов; плавание в канале за ледоколом в сплошном льду толщиной 0,50 м со скоростью 3 узла).

Корпус имеет двойное дно высотой 980 мм, двойные борта шириной 2330 мм, верхнюю палубу с шириной раскрытия 0,724 В, непрерывные продольные комингсы грузовых люков высотой 3930 мм с прочным палубным стрингером комингса люка, расположенным на высоте 2600 мм над главной палубой и переходящим в носу в палубу бака, а в районе машинного отделения – в палубу юта.

Поперечная шпация в средней части судна – 650 мм, в оконечностях – 600 мм. В грузовой зоне флоры и рамные шпангоуты установлены на каждой третьей шпации. Шпация продольного набора в двойном дне 510 мм и в двойных бортах 625 мм.

Продольные комингсы грузового трюма установлены в плоскости продольных переборок трюма. За счет применения высоких непрерывных комингсов люков удалось обеспечить повышение стандарта общей прочности при увеличении грузоподъемности в море и грузовместимости.

Поперечная переборка между трюмами выполнена гофрированной. Верхняя и главная палубы, днище и второе дно, борт и второй борт выполняются по продольной системе набора, в оконечностях и машинном отделении – по поперечной системе набора.

Второе дно рассчитано на интенсивность распределенной нагрузки  $12,0 \text{ т/м}^2$ , а также на работу грейфером.

Схема мидель-шпангоута судна приведена на рисунке 12.

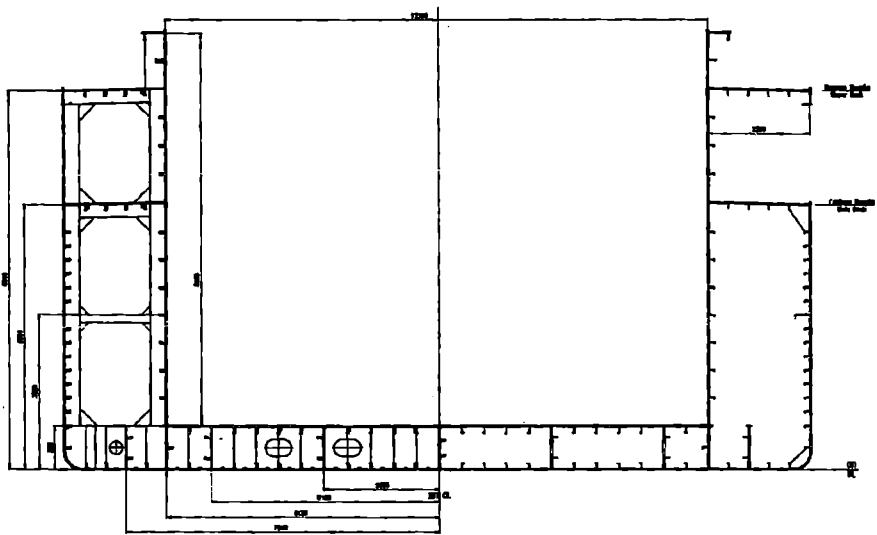


Рис. 12. Схема мидель-шпангоута многоцелевого сухогрузного судна проекта RSD59



В качестве главных двигателей используются два среднеоборотных дизеля мощностью 1200 кВт каждый, работающих на тяжелом топливе вязкостью до 380 сСт. Запасы тяжелого топлива размещаются в диптанках в районе носовой переборки МО, отделенных от забортной воды двойными дном и бортами. Автономность плавания в море составляет 20 суток.

Электроэнергетическая установка сухогруза состоит из двух основных дизель-генераторов фирмы электрической мощностью по 332 кВт каждый и одного аварийного дизель-генератора электрической мощностью 90 кВт.

Спуск и подъем носовых и кормового якорей выполняется якорно-швартовными лебедками.

В качестве спасательных средств используется спасательная свободнопадающая шлюпка вместимостью 16 человек, спускаемая устройством гравитационного типа с гидравлической шлюпочной лебедкой контролируемым спуском, либо методом свободного падения, а также два плота вместимостью по 16 человек каждый и один плот вместимостью 6 человек, установленный в районе носовой оконечности.

Состав средств связи предусмотрен в объеме требований Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ) для морских районов А1+А2+А3. Комплекс современного судового радиоборудования обеспечивает связь при бедствиях и безопасность мореплавания, а также эксплуатационную связь общего назначения.

Гирокомпас с репитерами, главный магнитный компас, лаг, эхолот, приемоиндикатор GPS, две радиолокационные станции, а также АИС обеспечивают судоводителя и системы-потребители навигационной информацией.

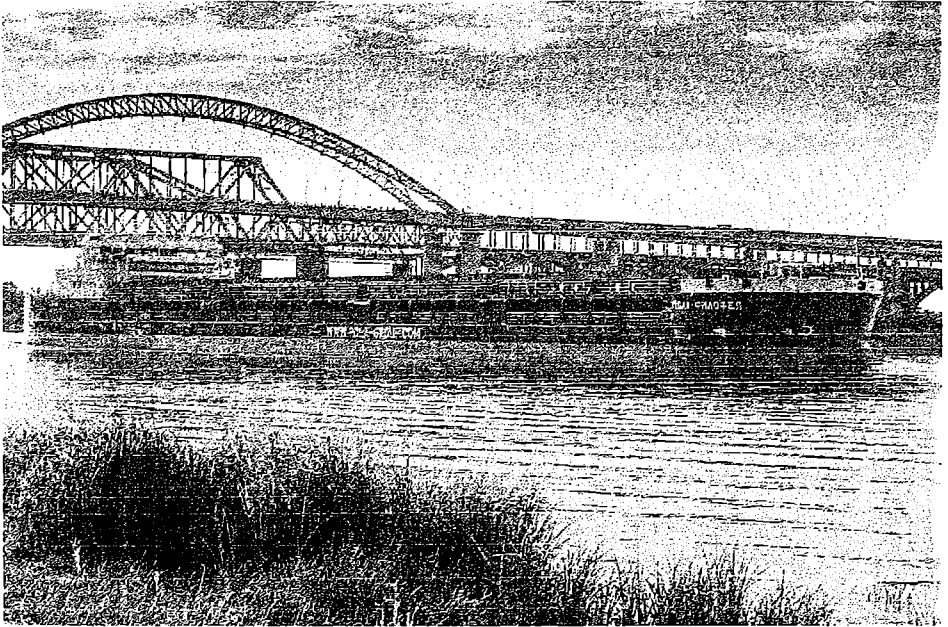
Для приема и выдачи балласта на судне имеется балластно-осушительная система, обслуживаемая двумя электроприводными самовсасывающими центробежными насосами и водоструйными эжекторами. Одновременная работа этих средств дает возможность откачать весь балласт за время не более 8 ч. На судне имеется установка обработки балластных вод (УОБВ). При этом заполнение и откатка балластных цистерн производится через УОБВ с производительностью двух насосов.

Управление судном, главной энергетической установкой, ВРК и подруливающим устройством, радионавигационными средствами осуществляется из центрального объединенного пульта управления в рулевой рубке. Автоматизированная система предусматривает управление судном из рулевой рубки без несения постоянной вахты в машинном отделении. Объем и степень автоматизации технических средств судна соответствует знаку автоматизации AUT1-ICS в символе класса судна в соответствии с Правилами Российского Морского Регистра Судоходства.

Для размещения экипажа численностью 11 человек, предназначаются 3 одноместные блок-каюты и 8 одноместных кают с санузелом и душем, каюта для лоцмана. В трех одноместных каютах имеется по одному резервному месту. Общее число мест (включая 3 резервных и лоцмана) – 15. На судне также предусмотрена санитарная каюта и офис.

Сопоставление технико-эксплуатационных характеристик проекта RSD59 (см. рисунок 13) с соответствующими характеристиками судов класса «Волго-Дон Макс» выполнено в таблице 2. Спроектированное судно по энергозатратам на единицу транспортной производительности лучше, чем проекты RSD49 и 006RSD05, выполненные на основе обводов «Арамад», и заметно лучше, чем сухогрузные суда типа «Волга» и «Русич».

Если к этому добавить и существенный рост абсолютного значения дедвейта (и с ним коэффициента утилизации дедвейта по водоизмещению) причем как на полной осадке, так, что еще более весомо, в реке (прибавка от 800 тонн в сравнении с «Невой-Лидером» и до 1495 тонн в сравнении с «Волгой»), при примерно одинаковой массе порожнем и пакете оборудования, то преимущество нового концепта RSD59 типа «Пола Макария» становится подавляющим.



*Рис. 13. Сухогруз проекта RSD59 Пола Филофея около Борского моста.  
Автор фото – Сергей Морозов*

Таблиця 2

## Главные характеристики сухогрузных судов смешанного река-море плавания

Характеристика	Проект RSD49 «Нева-Лидер»	проект RSD59 «Пола Фива»	Пр. 006RSD05 «Гейдар Алиев»	Пр. 00101 «Русич»	Пр. 19610 «Волга»
Класс судна	КМ  Ice2 R2 AUT1-C	КМ  Ice2 R2 AUT1-ICS CONT (deck, cargo holds Nos. 1,2) DG (bulk, pack)	КМ  ЛУ1 І ІІ А І	КМ  ЛУ2 І І А І	КМ  ЛЗ І І А 2
Длина наибольшая, м	139,95	141,00	139,63	128,20	140,00
Длина между перпендикулярами, м	135,74	137,08	134,00	122,80	134,00
Ширина габаритная, м	16,70	16,98	16,70	16,74	16,56
Ширина, м	16,50	16,90	16,50	16,50	16,40
Высота борта, м	6,00	6,00	6,00	6,10	6,70
Кубический модуль, LBN	14023	14365	13991	13091	15533
Валовая вместимость, GT	5686	6143	5687	4960	4991
Чистая вместимость, NT	3321	3317	3240	2140	1781
Объем грузовых трюмов, м <sup>3</sup>	10921	11292	11408	8090	6864
Количество грузовых трюмов	3	2	4	3	4
Контейнеровместимость всего / в трюмах, TEU	289 / 219	248 / 192	274 / 204	267 / 180	144 / 92
Количество, мощность (кВт) и тип главных двигателей	2 x 1200	2 x 1200	2x1120	2x1140	2x970

Продолжение таблицы 2

Характеристика	Проект RSD49 «Нева-Лидер»	проект RSD59 «Пола Фива»	Пр. 006RSD05 «Гейдар Алиев»	Пр. 00101 «Русич»	Пр. 19610 «Волга»
Скорость при осадке по ЛГВЛ, узл.	11,5	10,5	11,8 (85%)	11,0 (90%)	10,0 (100%)
Двигательно-рулевой комплекс	2 винта + 2 руля	2 ВРК	2 ВРК	2 винта + 2 руля	2 винта в поворотных насадках + 1 руль
Мощность вспомогательных ДГ, кВт	2 x 292	2 x 332	2x215	3x160	3x150
Мощность аварийного ДГ, кВт	1 x 90	1 x 90		1x85	1x100
Мощность подруливающего устройства, кВт	200	230	230	160	135
Автономность, сут.	20	20	15	20	20
Экипаж / количество мест	10 / 12	11 / 15	12 / 14	10 / 12	18
Осадка по ЛГВЛ, м	4,70	4,706	4,60	4,20	4,677
Дедвейт (при осадке по ЛГВЛ), т	7147	8144	6970	5190	6207
Спецификационный УПО груза, м <sup>3</sup> /т	1,64	1,40	1,71	1,63	1,18
Коэффициент использования водоизмещения по дедвейту	0,721	0,753	0,727	0,687	0,696
Энергозаграта на единицу транспортной производительности, мощность / (дедвейт x скорость), кВт/т·узл.	0,0292	0,0280	0,0232	0,0359	0,0313
Дедвейт (при осадке 3,60 м в реке), т	4507	5320	4580	3855	3825

**Заклучение.** Построенные в 2018 году шесть «сверхполных» многоцелевых сухогрузных судов «Волго-Дон макс» класса проекта RSD59 не имеют аналогов в мире и существенно по своим технико-экономическим параметрам лучше всех имеющихся на отечественном рынке судов.

Преимущества проекта RSD59 (на примере судна «Пола Фива» с усиленной морской функцией) по сравнению с лучшим из ранее построенных сухогрузов «Волго-Дон макс» класса проекта RSD49:

- дедвейт в реке при осадке 3,60 м 5320 тонн (у проекта RSD49 – 4507 тонн), что больше на 813 тонн;

- дедвейт при максимальной осадке 4,706 м 8144 тонн (у проекта RSD49 при максимальной осадке 4,70 м 7143 тонны), что больше на 1000 тонн;

- наличие длинного трюма  $L = 77,35$  м (на судне проекта RSD49  $L = 52$  м), позволяющего перевозить КТГ, что актуально для рынка стран Каспийского региона;

- высота трюма больше на 620 мм (9000 мм), чем на судне проекта RSD49, что позволяет перевозить контейнеры высотой до 9,6 футов – «high cube containers» (3 таких контейнера в высоту);

- движение и управляемость обеспечиваются двумя ВПК (лучше маневренность в узкостях, больше грузового пространства за счет уменьшения размеров МО).

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров Г.В., Исунов Ю.И. Сухогрузное многоцелевое судно смешанного «река-море» плавания дедвейтом 6970 т «Гейдар Алиев» с винторулевыми колонками // Судостроение. – 2004. – № 4. – С. 16-23.
2. Егоров Г.В., Ильницкий И.А. Многоцелевые сухогрузные суда типа «Хазар» дедвейтом 7000 т для Каспийского моря // Судостроение. – 2008. – № 3. – С. 15-22.
3. Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Тонюк В.И. Многоцелевые сухогрузные суда смешанного «река-море» плавания класса «Волго-Дон макс» типа «Надежда» и «Танаис» // Судостроение. – 2011. – № 5. – С. 9-18.
4. Егоров Г.В., Ефремов Н.А., Автутов Н.В. Сухогрузные суда смешанного плавания серии «Челси», построенные с использованием элементов судов-доноров // Судостроение. – 2011. – № 3. – С. 9-16.
5. Егоров Г.В., Каневский Г.И., Станков Б.Н. Исследование ходовых качеств судна смешанного плавания большой полноты с винторулевыми колонками // Морская Биржа. – 2011. – № 4 (38). – С. 16-20.

6. Егоров Г.В., Автутов Н.В., Багаутдинов Р.Д. Речные сухогрузные суда пр. RSD44 дедвейтом 5540 т с пониженным надводным габаритом // Судостроение. – 2012. – № 2. – С. 14-23.
7. Егоров Г.В., Тонюк В.И. Многоцелевые сухогрузные суда класса «Волго-Дон макс» дедвейтом 7150 тонн проекта RSD49 типа «Нева-Лидер» // Судостроение. – 2014. – № 2. – С. 9-17.
8. Егоров Г.В., Тонюк В.И. Двенадцать многоцелевых сухогрузных судов дедвейтом 5500 тонн проекта 005RSD03 типа «Россиянин» // Судостроение. – 2015. – № 1. – С. 9-17.
9. Егоров Г.В. Суда внутреннего, смешанного река-море и каботажного плавания для перевозки негабаритных и тяжеловесных грузов // Морская Биржа. – 2015. – № 3 (53). – С. 22-31.
10. Егоров Г.В., Шабликов Н.В. Массовое строительство «сверхполных» грузовых судов смешанного река-море плавания // Морская Биржа. – 2016. – № 3 (57). – С. 20-31.

Стаття надійшла до редакції 15.11.2018 р.

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Одеського національного морського університету  
**А.В. Гришин**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машинознавство» Одеського національного морського університету  
**А.В. Конопльов**

УДК 629.5.01

## КРУИЗНЫЙ ПАССАЖИРСКИЙ ФЛОТ: АНАЛИЗ И ТЕНДЕНЦИИ

А.Г. Егоров  
мл. научн. сотрудник

*Морское Инженерное Бюро, г. Одеса*

*Аннотация.* Выполнено исследование морских круизов и путешествий по европейским рекам, определены особенности пассажирского флота, предназначенного для круизов, и даны рекомендации для постройки и модернизации отечественных судов, включая конверсию.

*Ключевые слова:* суда внутреннего плавания, пассажирские суда, речные круизы, морские круизы, проектирование, конверсия, модернизация.

## КРУЇЗНИЙ ПАСАЖИРСЬКИЙ ФЛОТ: АНАЛІЗ І ТЕНДЕНЦІЇ

О.Г. Єгоров  
мол. наук. співпрацівник

*Морське Інженерне Бюро, м. Одеса*

*Анотація.* Виконано дослідження морських круїзів і подорожей за європейськими річками, визначено особливості пасажирського флоту, призначеного для круїзів, і дані рекомендації для побудови і модернізації вітчизняних судів, включаючи конверсію.

*Ключові слова:* судна внутрішнього плавання, пасажирські судна, річкові круїзи, морські круїзи, проектування, конверсія, модернізація.

## CRUISE PASSENGER FLEET: ANALYSIS AND TRENDS

A.G. Egorov  
ml. scientific associate

*Maritime Engineering Bureau, Odessa*

*Abstract.* Investigation of world sea cruises and trips on European rivers, requisites of the passenger fleet intended for cruises, and recommendations for the construction and modernization of domestic ships, including conversion.

*Keywords:* inland navigation vessels, passenger ships, river cruises, sea cruises, design, conversion, modernization.

**Постановка проблеми.** В отличие от европейских практически все существующие отечественные круизные суда (КС) для крупных рек и водохранилищ имеют возраст более 25 лет. КС были спроектированы и построены на иностранных верфях (в Германии, Словакии, Венгрии, Австрии), многие – в 50-60-е годы прошлого столетия.

Новые КС необходимы по следующим причинам:

- эксплуатируемые на линиях суда уже подошли к порогу физического и морального устаревания;
- ограниченные возможности модернизации многих имеющихся судов из-за устаревшей конструкции;
- низкие показатели экономичности существующих судов;
- неудовлетворительные показатели комфорта пассажирских кают и общественных мест на судне;
- невозможность круизов река-море.

Реальное строительство новых КС смешанного река-море плавания и речных уже началось. Оно осуществляется на отечественных судостроительных предприятиях по льготной лизинговой схеме.

Первое судно проекта PV09 «Штандарт» (оператор Мостурфлот) уже сдано, суда проектов PV300VD для Мостурфлота (на 310 пассажиров) и PV300 для Водохода (на 342 пассажира) строятся. Следующим, реализуемым уже компанией «ГАМА» проектом, стало судно «Золотое Кольцо» (проект ПКС-180) с инновационным колесным двигателем.

Новые концепты – это не только новые суда, но и новый туристический продукт. Например, перспективный каспийский круиз привлекает не только граждан прикаспийских стран (Ирана, Азербайджана, Казахстана), но и туристов из США, Австралии, Европы и Китая.

31 мая 2017 года в Санкт-Петербурге состоялось крещение первого построенного в XXI веке КС смешанного река-море плавания «Штандарт» проекта PV09. КС смешанного река-море плавания проекта PV09 стало прототипом для концепта PV300VD на астраханском заводе «Лотос». Это, по сути, начало той «линейки» КС. Проект подразумевает высочайший уровень комфорта на борту, соответствующий 5-ти звездочным требованиям. Первый рейс судна «Петр Великий» запланирован на 2019 год. Вторым судном проекта PV300 стал теплоход «Князь Владимир» для круизной компании «Водоход», строительство которого ведется на судостроительном заводе «Красное Сормово» в Нижнем Новгороде. Торжественная закладка теплохода состоялась 28 марта 2017 года. Первый рейс теплохода запланирован на весну 2020 года.

Для удержания доли рынка на уровне 400 тысяч туристов необходимо строительство не менее 20 современных КС различного типа. Если их не будет, то, по оценкам экспертов, через 20 лет само понятие «речного круиза» может исчезнуть.



Но финансовые ресурсы, которые могут привлечь туроператоры, и возможности верфей не безграничны, поэтому полностью закрыть «брешь» между достаточно серьезным круизным туристическим потоком, включая въездной туризм, и прогнозируемым снижением численности флота, который его «обрабатывает», только за счет нового судостроения не получится.

Поэтому в этом направлении крайне важны действия в отношении рационального продления срока службы имеющихся судов с повышением их комфортности и обоснованного возобновления процедуры постройки новых КС с применением элементов существующих судов («конверсии») [11-16; 18; 21].

**Цель статьи.** КС, построенные по «конверсии», должны отвечать новейшим мировым представлениям о круизном судне, поэтому принципиально важно эти тенденции видеть и учитывать в проектировании новых судов, чему собственно и посвящена настоящая статья.

**Изложение основного материала.** Общее число пассажиров, совершивших в мире круизы, превышает 20 млн. человек в год.

Как отмечает Международная ассоциация круизных линий (CLIA) [1], в 2017 году примерно 25,8 миллиона человек побывали в морских и речных круизах, в 2016 году – 24,7 миллиона пассажиров. Фактически рынок вырос на 20,5 % в течение пяти лет с 2011 по 2016 годы. В 2018 году ожидается уже 27,2 миллиона пассажиров. По оценкам CLIA в 2018 году будет получено 27 новых КС.

Однако при этом средний возраст КС достаточно велик, так как пополнение флота происходит не только за счет нового судостроения, но и за счет модернизации судов. Например, из 14 судов, введенных в строй в 2007 году, 9 были новыми, а 5 – после крупной модернизации. За 2009-2011 годы 43 морских КС были сданы в эксплуатацию после крупной модернизации. На навигацию 2012-2013 модернизировалось 25 морских КС [22]. Увеличение количества крупных модернизаций связано с тем, что пассажиры все чаще требуют комфортабельные «суда-отели», суть которых закладывается при проектировании и постройке новых морских КС, и если не выполнять модернизацию существующих пассажирских судов, то они просто будут неконкурентоспособными.

**Морские круизы.** К середине 2012 года флот морских КС состоял из 351 ед. (включая суда, находившиеся в постройке). Распределение по годам постройки указано в табл. 1.

Четыре крупнейших пароходства (Carnival Corporation, Royal Caribbean Cruises, Star / Apollo, MSC) контролируют 85 % рынка морских круизов.

Таблиця 1

*Распределение морских круизных судов по годам постройки*

Год постройки	Количество	Вместимость, тыс. регистр. т
До 1960	12	165
1961-1970	25	410
1971-1980	26	382
1981-1990	49	1369
1991-2000	93	4777
После 2001	146	11 097
Всего	351	18 200

Источник: [2; 20; 22; 23]

Сегодняшний морской круизный бизнес, который контролируют упомянутые выше 21 компания (90,3 % пассажировместимости рынка Северной Америки, 86,7 % пассажировместимости рынка Европы, 94,6 % пассажировместимости рынка Азии/Океании) [2], отличается:

- применением крупных судов (что требует либо строительства новых, либо модернизации за счет удлинения, установки новых палуб существующих), причем время строительства, несмотря на увеличение размеров, сократилось до 2 лет;
- специализацией;
- освоением новых маршрутов и районов;
- расширением спектра услуг пассажирам, полным превращением в «плавающие самоходные» отели и курорты;
- адаптацией ко всем возрастным группам и состоянию здоровья клиентов;
- успешным сочетанием современных решений в корабельной платформе с еще более современным дизайном, экологичностью.

Современные морские КС отличаются:

- кормовым расположением машинного отделения;
- дизельной или дизель-электрической СЭУ;
- скоростью 20-22 узла (при большей скорости невозможно находиться на открытой палубе и нет смысла в более раннем приходе в порт);
- наличием системы стабилизации качки;
- использованием подруливающих устройств;
- кондиционированием воздуха с регулированием тепла и влажности;
- каютными модулями с санблоками (ванна, туалет), средняя площадь модуля 17 кв. м и больше;
- наличием центров отдыха для всех возрастных групп (солнечные палубы с шезлонгами, бассейны, индивидуальные балконы, библиотека,

выставочные помещения и галереи, детские игровые комнаты, подростковые клубы, дискотеки, казино, интернет-кафе, залы игровых автоматов, спа-центры, огромные экраны на открытых палубах для просмотра кинофильмов, поля для мини-гольфа, каток, баскетбольная площадка, беговая дорожка, боксерский ринг, сауны, бани, массажерные, талассотерапия, тренажерные и т.п.);

- удобствами для людей с ограниченными физическими возможностями;

- другими составляющими отеля минимум класса 4 звезды.

На крупных судах устраиваются атриумы высотой в 2-4 палубы, театры с вращающимися сценами, складывающимися декорациями.

Эволюцию морских КС видно на рис. 1.

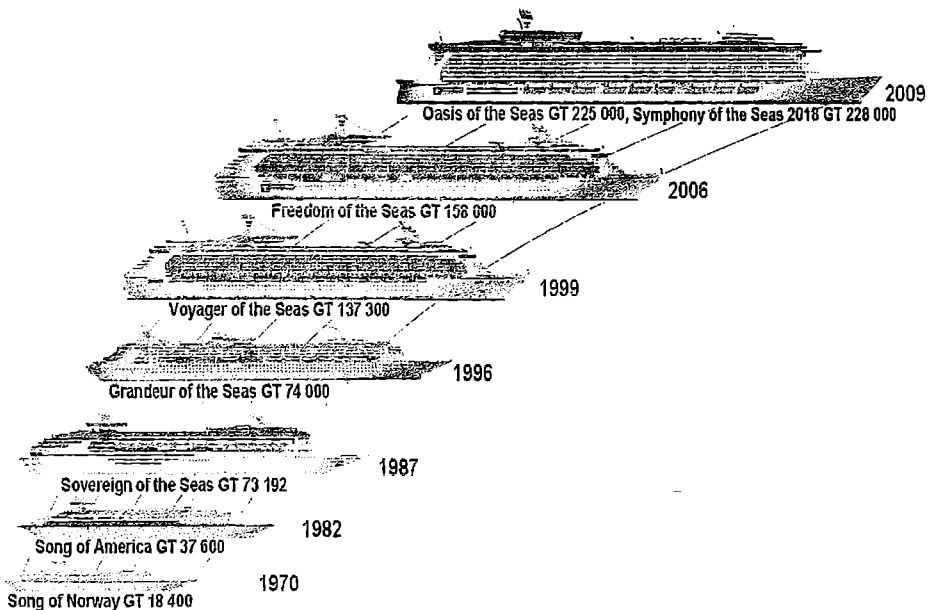


Рис. 1. Эволюция морских круизных судов

Источник: [23]

Примером существенной модернизации может служить заверенное в ноябре 2000 года удлинение на 44,8 м КС «Costa Classica» (1992 года постройки) с организацией дополнительных 356 кают, новым рестораном, камбузом, казино, танцполом, бассейном, а также с заменой классической пропульсии на Азиподы. После модернизации судно длиной  $x$  шириной  $x$  осадкой 265,4 м  $x$  30,8 м  $x$  7,3 м получило возможность перевозить 2516 пассажиров, причем в более комфортных и безопасных условиях (были учтены новые требования СОЛАС).

CLIA [1] на основе анализа круизной индустрии в 2018 году прогнозирует новые тенденции, которые требуют не только изменений в бизнесе, но часто и новых судов или переоборудования существующих.

Это All Budgets Will Cruise (круизы для пассажиров с широким диапазоном доходов) – фактически треть (33 %) опрошенных пассажиров, которые совершили круиз в течение 2015-2017 годов, имели совокупный годовой доход на семью менее 80 тыс. долларов США, что по западным меркам не очень много.

Transformational Cruise Travel (трансформируемые круизы) – следующая стадия развития экспедиционных путешествий, когда путешественники делают шаг вперед и ищут смену впечатлений (от погружения в иные культуры до экстремальных приключений). Некоторые предстоящие круизные маршруты включают возможность побаловать себя местной кухней, экскурсии по маленьким деревням и даже посещение частных домов. Искатели триллеров могут получить возможностью поплавать с акулами в Южной Африке, кататься на Harley Davidson на Аляске или прогуляться между пингвинами в Арктике.

Sustainability at Sea («Устойчивое развитие» на море). Туризм экологического типа. Главное – иснанесение вреда и ущерба чему бы то ни было (от переработки и утилизации отходов до участия в работе волонтеров, которая направлена на создание положительного экологического и социального воздействия по всему миру).

Millennials Take to the River («новотысячелетние» идут к реке). В англоязычной литературе есть термин – Millennials, поколение нового тысячелетия. Это те, кто родился в период с 1980 по 2000 г. Миллениумы или новотысячелетние – им сейчас уже от 38 до 18 лет. Благодаря постоянно расширяющимся маршрутам и возможности увидеть новые для себя достопримечательности, которые далеко выходят за пределы обычных прогулок и туров и бесконечных вариантов идеального селфи – молодое поколение «внедряется» в круизы по рекам.

Skip-Gen Cruising (круиз разных поколений). Бабушки и дедушки и внуки, путешествующие вместе без их родителей.

Travellers Warm to Chilly Destinations (Круизы из лета в зиму). В силу наблюдаемых погодных аномалий, ожидается увеличение популярности более холодных климатических курортов Балтийского региона, Канады, Аляски, Антарктики и Антарктиды. Благодаря множеству уникальных экскурсий, от наблюдения пингвинов до подледного лова, эти места для зимнего чуда привлекают людей, уставших от жары в своих домашних регионах.

Healthy Doses («Порции здоровья»). Путешественники ищут оздоровительные поездки больше, чем когда-либо прежде. Сегодняшние круизные пассажиры могут принять участие в проводимых на борту оздоровительных семинарах под руководством популярных специалистов, индивидуальных фитнес-программах, программах борьбы со стрес-

сом и спа-услуг. Существуют целые круизные маршруты, посвященные управлению весом и здоровому образу жизни, включая круизы для диабетиков, круизы для веганов и т.п.

Smart Travel Technology. Широкое применение человеко-ориентированных бортовых технологий, например, электронные брелоки и браслеты, взаимодействующие с датчиками на судне для включения света, для контроля безопасности и т.п.

**Речные круизы.** В 2016 году на внутренних водных путях Европы было выполнено 1,36 млн. речных круизов, на 2,7 % больше по сравнению с предыдущим годом [10].

Российский и украинский рынки круизных услуг являются частью общеевропейского туристического бизнеса. Некоторые европейские компании (Viking River Cruises) имеют свои дочерние компании в России и Украине, а остальные работают через ведущих отечественных туроператоров<sup>1</sup>.

Некоторые европейские компании (Viking River Cruises) имеют свои дочерние компании в России и Украине, а остальные работают через ведущих отечественных туроператоров<sup>2</sup>.

Однако при этом сам европейский пассажирский флот имеет свои особенности.

Опираясь на данные [4], такой флот можно разделить на 2 основные группы:

1. КС, характеризующиеся наличием спальных мест и позволяющие совершать туры от нескольких дней до нескольких недель:

- каютные суда: суда, оборудованные каютами и спальными местами, эксплуатируются в качестве, собственно, круизных судов и плавучих гостиниц во время стоянки у причала;

- «brown fleet»: бывшие торговые парусные суда, которые в настоящее время используются в качестве туристических в прибрежных районах и на озерах;

- бывшие грузовые суда: обычно эксплуатируются в каналах в качестве прогулочных судов с функцией «отеля на ночь»;

- прибрежные КС: суда, которые эксплуатируются вдоль побережья.

2. Суда для однодневных прогулок, эксплуатирующиеся на более коротких рейсах с продолжительностью не более одного дня:

- собственно, сами суда для однодневных прогулок: суда, предназначенные для прогулки в течение одного дня с функцией ресторана на

---

<sup>1</sup> Сайт компании «Мостурфлот» - URL.: <http://www.mosturflot.ru/articles/14261?history=0&sample=95&ref=0>

<sup>2</sup> Сайт компании «Мостурфлот» - URL.: <http://www.mosturflot.ru/articles/14261?history=0&sample=95&ref=0>

борту. Эти суда обычно используют и для проведения праздничных мероприятий. На судах данного типа также увеличился спектр предоставляемых услуг (театр, музыкальные мероприятия или бизнес-встречи) и появились специальные нестандартные услуги (встреча Рождества, Нового Года на борту судна). Современная тенденция развития судов данного типа тесно перекликается с дизайном судов данного типа, к примеру, появляются суда-галереи и т.п.;

- малые экскурсионные суда: малые суда, предназначенные для коротких экскурсий;

- скоростные суда и паромы: суда, занимающиеся линейной перевозкой пассажиров, зачастую входят в состав городского транспорта.

В последние годы наиболее интенсивно развивается рынок каютных судов, и потенциал судов данного типа до сих пор не исчерпан, собственно, как и потенциал прибрежных экскурсионных судов, так и судов для однодневных прогулок в тех районах, где речной туризм не получил ещё должного развития.

В 2013 году каютные суда перевезли 840 тыс. круизных пассажиров по рекам Европы [9].

Среди них 37 % были граждане ФРГ, 30 % – США, 15 % – Франции, 10 % – Великобритании.

В 2015 году уже 38 % круизных пассажиров были из США и Канады. В 2016 году – 39 %.

Важность рынка речных круизов можно оценить по эксплуатируемому флоту КС. Количество этих судов в последние годы стремительно возрастает: за 1970-1990 годы с 30 до 60 единиц; за 1990-2000 годы с 60 до 105 единиц; за 2000-2004 годы со 105 до 188 единиц.

В 2007 году флот речных круизных пассажирских судов ЕС составлял 195 единиц.

По данным [4] на 2006 год пассажирский флот европейских государств разделялся следующим образом (см. табл. 2). Значительная часть КС эксплуатируется под флагами Швейцарии, Голландии, Германии и Франции. По состоянию на 2004 год 44 судна – под флагом Швейцарии, 40 – Германии, 36 – Голландии, более 30 – Франции.

Флот судов для однодневных и коротких праздничных (2-4 дня) прогулок также претерпевает изменения. Пассажиры требуют большего уровня комфорта. Эту тенденцию можно проследить на примере немецкого рынка судов. В 2010 году в эксплуатации находилось 797 судов, в 2011 году – 799 (9 судов приняли в эксплуатацию, 7 – вывели из эксплуатации). При этом общая пассажировместимость изменилась с 189509 человек на 188008 (увеличилась удельная площадь на пассажира), средняя пассажировместимость судна составляет 235 человек [7].

Динамика пополнения пассажирского флота приведена в табл. 3.

Таблиця 2

*Пассажирский флот европейских государств на 2006 год*

Суда для однодневных прогулок, по странам	Количество судов, ед.	Количество мест на борту
Германия	955	237 402
Бельгия	149	6 162
Франция (*)	303	45 035
Люксембург	4	1 250
Голландия	708	177 000
Швейцария	8	1 735
Всего	2 127	468 584
КС, по странам	Количество судов, ед.	Количество мест на борту
Германия	58	6 675
Бельгия	0	0
Франция	87	4 640
Люксембург	0	0
Голландия (**)	180	23 400
Швейцария	44	4 947
Всего	369	39 662

\* Данные по Франции за 2003 год. В статистике также указаны грузовые суда, переоборудованные в пассажирские.  
 \*\* В статистику по Голландии включены суда типа «brown fleet» и суда, переоборудованные в пассажирские.

Источник: [4]

Таблиця 3

*Пополнение пассажирского флота европейских государств за 2002-2013 годы*

Год	Тип судна		Общее количество судов / суммарная мощность всех типов судов
	Каютные суда (количество судов / суммарная мощность, кВт)	Суда для однодневных прогулок (количество судов / суммарная мощность, кВт)	
1	2	3	4
2002	17	9	26
	13251	4834	18085
2003	10	1	11
	7238	1566	8804
2004	5	1	6
	4021	662	4683

Продолжение табл. 3

1	2	3	4
2005	5	5	10
	6280	2832	9112
2006	4	2	6
	1644	1959	5430
2007	2	1	3
	1816	1570	3386
2008	4	20	24
	5432	5252	10684
2009	17	12	29
	17072	3686	20758
2010	16	12	28
	5872	5177	11049
2011	9	9	18
	11392	2441	13833
2012	4	23	27
	1131	18387	19518
2013	2	23	25
	722	21000	21722

Источник: [6-8]

По данным [9] на 2011 год пассажирский флот европейских государств для однодневных путешествий разделялся следующим образом (см. таблицу 4). Интересно отметить, что, несмотря на строительство новых КС для многодневных путешествий, средний возраст пассажирских судов на реке Рейн за счет многочисленных прогулочных судов составляет 59 лет. 31 % флота был построен с 1876 по 1930 год.

Таблица 4

*Пассажирский флот европейских государств  
для однодневных путешествий на 2011 год*

Суда для однодневных прогулок, по странам	Количество судов, ед.	Количество мест на борту
Германия	820	68 500
Бельгия	26	3 000
Франция	421	49 100
Голландия	300	
Швейцария	6	
Австрия	56	16 300
Словакия	15	1 421
Венгрия	74	11 628

Источник: [9]



Новые речные КС в 2002-2012 годы проектировались и строились под центральную систему рек ЕС (реки Рейн, Дунай, Эльба, Мозель и Майн). Лишь 10 судов за этот промежуток времени строились для иных навигационных условий (реки Рона, Дору, Алгавре и др). 75 % КС в Европе работают по Рейну, Дунаю и Эльбе [10]. Более подробно см. рисунок 2.

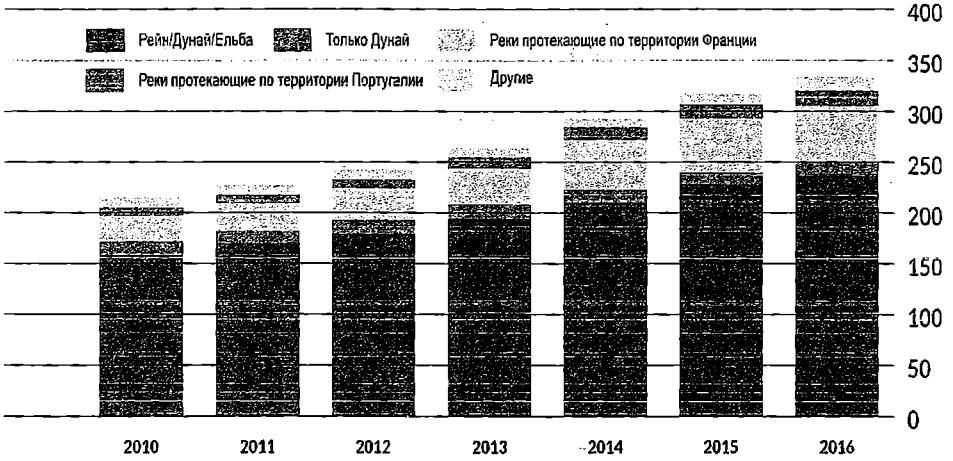


Рис. 2. Количество европейских речных круизных судов (по регионам)

Источник: [7; 8]

Динамика пополнения пассажирского флота приведена на рис. 3. Рынок речных круизов в Европе стал оживать и усиленно развиваться после кризиса 2008 года, что отражается на количестве заказанных КС. В 2011 году было сдано в эксплуатацию 13 судов [9]. По прогнозу [8], в 2012 году должно быть сдано в эксплуатацию 16 новых речных КС.

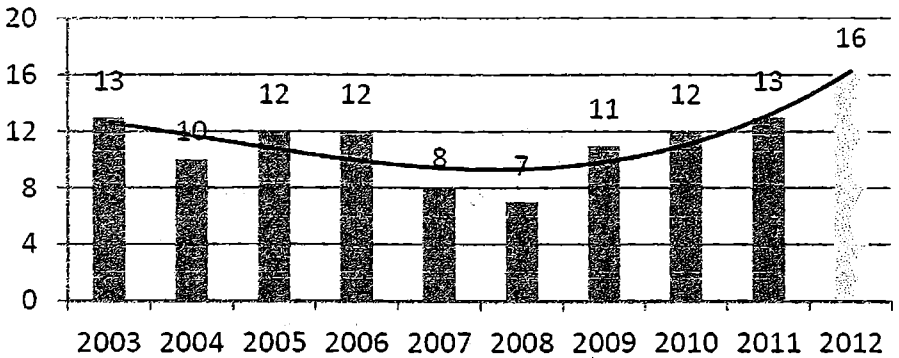


Рис. 3. Динамика пополнения пассажирского флота речных круизных судов

Источник: [7; 8]

Основными заказчиками новых речных КС являются немецкие, швейцарские и американские компании. Например, в 2011 году банк Irex, входящий в государственный банковский консорциум Германии KfW, и швейцарский банк UBS взяли на себя финансирование 75 % стоимости заказа (срок действия кредита 8,5 лет) на строительство 5 речных КС для швейцарской судоходной компании Viking River Tours, которые были построены на судовой верфи в Ростове и поставлены к сезону эксплуатации 2012-2013 гг. Эта компания уже имела на 2011 год 22 речных КС.

В 2011 году флот Европы включал 2343 речных пассажирских судна. Здесь лидирует Германия (1032 судна), за ней следует Голландия (701) и Франция (493).

В последние годы ускоренными темпами развивается ещё один вид круиза, получивший название круиз, который включает в себя как путешествие по реке, так и по морю (на круизных пассажирских судах смешанного «река-море» плавания).

Морские КС слишком велики и значительное число портов не в состоянии принять суда таких размеров, пассажирам приходилось пересаживаться на автобусы в большом порту и добираться до места экскурсии с пересадкой, что вызывало определенные неудобства. С появлением прибрежных судов, появляется возможность доставлять пассажиров напрямую к экскурсионному месту вдоль средиземноморского побережья и т.д.

Опыт эксплуатации речных пассажирских судов в Европе будет полезен для отечественных круизных компаний, однако, простой перенос опыта стран ЕС в Россию и в Украину (Днепровские круизы), без понимания особенностей регионов в отношении условий плавания и погоды, невозможен [15]. Например, навигационный период по ВВП Европы составляет порядка 240 дней, а в России 150-165 суток.

Существенно отличаются ветро-волновые нагрузки – КС в Европе работают в условиях рек и каналов при высотах волн до 0,6 м, а в России и Украине определяющим является эксплуатация по крупным озерам (разряд «М» для Ладожского и Онежского озер, высота волны до 3,0 м) и водохранилищам (разряд «О», высота волны до 2,0 м – Днепровские водохранилища), что не может не отразиться на металлоемкости корпусов судов и на повышенных требованиях к остойчивости и судовым устройствам (масса якорей, спасательные устройства).

Среднее число пассажиров на КС около 140 человек, экипажа 25-35 человек (в России и Украине численность экипажа на такую же численность пассажиров примерно в полтора раза больше). Для европейских КС, соответствующих гостинице 3-4-х звездочного уровня, отношение количества пассажиров к общему количеству экипажа и обслуживающего персонала находится в диапазоне 4-5; для 5-ти звездочных – 3-4. Такая численность обусловлена тем, что в Европе очень активно применяется совмещение профессий, а также автоматизацией СЭУ, автоматизацией

палубных работ (автоматические якорно-швартовные лебедки), автоматизацией процесса погрузки припасов и механизацией процесса уборки палуб (моечные машинки и т.п.). Основное отличие между экипажами КС в Европе и России/Украине – в численности палубной команды – на 3 человека и машинной команды – на 10-12 человек.

Например, в 2013 году средняя пассажировместимость 265 речных круизных судов составляла 143 человека [9]. При этом средний возраст этих судов составлял 17 лет, а габаритная длина составляла 110 метров.

Новые круизные суда уже имеют пассажировместимость до 180-200 человек с габаритной длиной 135 метров (в 2012 году было заказано наибольшее количество судов), суда пассажировместимостью 160-180 человек занимают второе место среди заказов с 2011 года и спрос на них стабилен.

Тенденция к судам с повышенной пассажировместимостью объясняется тем, что компании стремятся распределить высокие эксплуатационные расходы на большее количество пассажиров, чтобы избежать повышения цен на круизы, при этом качество круиза заметно выросло за счет увеличения размеров площадей кают за счет дополнительных 25 метров длины.

Другой тенденцией в европейском круизном речном судостроении является создание судов для «зеленых рейсов» («green cruising»). Отсюда применение дизель-электрической пропульсии, как более экологичной, например, в 2016 году четверть заказанных новых судов были дизель-электроходами. Очень эффективным техническим решением является обеспечение энергией на стоянках за счет подключения к береговым сетям, при этом судовые дизель-генераторы не работают.

Также обсуждается использование двухтопливных двигателей [17] (на дизельном топливе и на газу) и катализаторов для очистки отработавших газов судовых дизелей. Фактически происходит постепенная «зеленая» модернизация речного круизного флота. Помимо преимуществ для окружающей среды, эти новые технологии также улучшают комфорт пассажиров (снижение шума и местных выбросов загрязняющих веществ) [10].

Предлагаются новые концепции для расширения своего предложения для разных путевых условий. Например, на реке Эльбе одной из ведущих европейских компаний, имеющей 45 КС, введено в строй судно с колесным движителем, которое может работать на существенном мелководье, с запасом глубины в 5-10 см. Компания STX построила КС с бортовыми колесами. На реке Дунай работают КС – катамараны, которые за счет двух корпусов получили заметный рост полезной площади.

По данным за 2011 год, наблюдался рост круизных услуг на 10 % по сравнению с предыдущим годом, и, хотя, рост морских круизов находился на отметке в 20 %, эксперты считали, что наступил «бум» в европейских речных круизах и потенциал рынка огромен. Собственно, это подтверждается количеством новых заказов – 16 судов и опросом жителей Германии в 2010 году, который показал, что среди опрошенных жителей возрастом до 30 лет 42 % хотели бы сходить в речной круиз (среди жителей возрастом 50-58 лет этот показатель составляет 48 %). При этом только 8 % всех опрошенных уже ходили в речной круиз [7; 8].

В 2016 году пассажиры из ФРГ выбрали в основном Рейн (35,5 %) и Дунай (34,4 %), а также французские реки (10,5 %), Эльбу, Одер (4,3 %).

В 2016 году объем круизных речных перевозок в Германии вырос на 5,4 % и выработка на одного члена команды (включая обслуживающий персонал) составила 350 тыс. евро в год. В Австрии доходы в пассажирском сегменте составили 66 % всех доходов от внутреннего водного транспорта и продолжают расти. В Венгрии и Австрии более 70 % компаний работают на пассажирских перевозках, в Швейцарии – 53 % [10].

В настоящее время отмечается заметная тенденция выполнения дифференцирования услуг. Европейский бизнес предлагает теперь не просто стандартные услуги, но и старается выделить каждый тур каким-либо особенным решением, например, особой кухней, классической музыкой и т.п. Такие подходы позволяют создать особые условия для каждой конкретной группы людей в зависимости от их образования, возраста, культурного уровня. КС все чаще используются как самоходные гостиницы, чтобы обеспечить прибытие клиентов к главным событиям, фестивалям, выставкам в определенных городах по маршруту круиза.

В последние годы активно развивается бизнес речных круизов на «собственном» судне. Особенно популярен он стал у россиян. По словам руководителя департамента Европы компании «АРТ-ТУР» Екатерины Литинской [19]: «С каждым годом растет число туристов, которые хотят самостоятельно исследовать интересные и малоизвестные уголки Европы. Наибольшим спросом при выборе речных маршрутов пользуется Франция и круизы по каналам Камарг и дю-Миди (Южный канал). Круизные маршруты могут быть непродолжительными – от трех до пяти дней. Чаще всего люди выбирают круизы продолжительностью от 7 до 14 дней. Примерная стоимость путешествия продолжительностью 7 – от 480 евро на человека, зависит от выбранного судна».

В 2017 году почти половина новых КС (47 %) были построены не для Рейна – Майна – Дуная, а для Дору, Роны и Сены. Эта диверсификация также имеет место в самом Рейне: маршруты поездок для реки круизы были расширены на притоки Рейна. С точки зрения операторов эта диверсификация экономически обоснована, так как концентрация круизов

на одной реке рискованна. Особенно это касается новых судов, стоимость постройки которых достаточно велика. Изменяется не только географический охват, но и тематика круизов, в том числе ориентированных на более молодую аудиторию.

Кроме того, наблюдается уход от классического навигационного периода (240 дней). К примеру, на зиму 2011-2012 гг. была разработана специальная круизная программа по Рейну, которая включала в себя шестидневный приключенческий, семидневный рождественский и восьмидневный новогодний круизы. Расширение сезона позволяет судовладельцам снизить расходы на эксплуатацию судов (типичные годовые расходы смотри в таблице 5), распределяя их на большее количество эксплуатационных дней. В таблице приведены типовые расходы судна со 150 пассажирами на борту с эксплуатационным периодом 210 дней (с апреля по октябрь).

*Таблица 5*

*Типичные годовые расходы современного европейского речного КС [8]*

Статьи расходов	Стоимость, млн. евро
Эксплуатационные расходы, включая:	2
- расходы на экипаж судна	0,3
- расходы на обслуживающий персонал	0,5
- расходы на страхование	0,12
- другие эксплуатационные расходы (топливо, масло и т.д.)	1,1
Капитальные расходы	1,5
Суммарные расходы	3,5

Источник: [8]

Структура расходов КС отличается от структуры расходов грузового, прежде всего, из-за разницы в стоимости объекта, новое европейское речное КС стоит, примерно 15 млн. евро, европейское речное грузовое судно – в 2,5-3 раза дешевле [8], то есть капитальные расходы на КС значительно выше.

Кроме того, КС в большей степени зависит от наемной рабочей силы, к примеру, на 6-8 членов экипажа приходится 30 человек обслуживающего персонала (причем в настоящее время Европа столкнулась с нехваткой квалифицированного судового персонала (экипажа), что вынужденно приведет к повышению расходов на их зарплаты и т.д.).

Важной отличительной составляющей расходов является также страхование, для примера Р&I страхование судна стоимостью 6 млн. евро обходится судовладельцу в 40 тыс. евро в год, а судна стоимостью 14 млн. евро – 90 тыс. евро.

Особенной статьёй расходов, безусловно, является статья расходов на топливо (достигает 30 % от общих годовых расходов). Эта статья расходов в равной степени характерна как для пассажирских судов, так и для грузовых и напрямую зависит от цен на нефть и газ на мировом рынке, кроме того, в ближайшем будущем возможно еще большее увеличение цен на топливо из-за обязательного ввода на рынок «экологического» топлива с пониженным содержанием серы и азота.

В 2016 году в Европе было введено в эксплуатацию 20 новых речных КС из 31 во всем мире. Как отмечается в обзоре [10] в двух других важных регионах тенденции менее позитивны: в России круизный флот имеет очень высокий средний возраст и сокращается из года в год, а на Ниле бизнес стогнирует из-за негативного влияния политических событий.

В 2016 году были сданы 9 судов для системы Рейн – Майн – Дунай (на 1591 пассажиров), 3 для Рейна (на 440 человек), 3 для Дуная (на 434 человека), 2 – для Дору (Португалия, на 202 человека), 2 – для Сены и Роны и одно – для Эльбы.

В 2017 году были сданы 5 судов для Рейна, 3 судна для системы Рейн – Майн – Дунай, 4 – для Дору, 2 – для Дуная, 2 – для Сены и Роны и одно – для Эльбы.

Строительство новых КС в Европе продолжается, хотя и медленнее, чем в предыдущие годы. В течение 2017 и 2018 годов количество новых судов продолжает медленно снижаться – в 2017 год было получено 17 новых судов, в 2018 году планируется построить 10. В целом, волна нового круизного судостроения, начавшаяся в 2010 году, и достигшая своего пика в 2014 году, сейчас подходит к концу [10].

Сводные данные по флоту речных КС представлены в таблице 6.

Следует отметить, что идет освоение новых регионов (водные пути Мьянмы и Вьетнама), которые не отражены в этой таблице.

*Таблица 6*

*Распределение речных КС по регионам мира*

Год	Европа	Россия	Африка	Китай	Всего
2005	177	166	282	100	725
2010	216	150	286	95	747
2013	265				
2015	318	130	275	114	837
2016	335	124	275	117	851
Общий прогноз	Рост	Снижение	Снижение	Нейтральный	Рост

Источник: [3; 10]

## Заклучение

1. Для удержания доли рынка на уровне 400 тысяч туристов необходимо строительство не менее 20 современных КС различного типа. Но финансовые ресурсы, которые могут привлечь туроператоры, и возможности верфей не безграничны.

Поэтому в этом направлении крайне важны действия в отношении рационального продления срока службы имеющихся судов с повышением их комфортности и обоснованного возобновления процедуры постройки новых КС с применением элементов существующих судов («конверсии»).

2. КС, построенные по «конверсии», должны отвечать новейшим мировым представлениям о круизном судне, поэтому принципиально важно эти тенденции видеть и учитывать в проектировании новых судов.

3. В 2017 году в мире примерно 25,8 миллиона человек побывали в морских и речных круизах.

Однако при этом средний возраст морских КС достаточно велик, так как пополнение флота происходит не только за счет нового судостроения, но и за счет модернизации судов. Увеличение количества крупных модернизаций связано с тем, что пассажиры все чаще требуют комфортабельные «суда-отели», суть которых закладывается при проектировании и постройки новых морских круизных судов, и если не выполнять модернизацию существующих пассажирских судов, то они просто будут неконкурентоспособными.

4. Современные КС отличаются, в том числе наличием системы стабилизации качки; использованием подруливающих устройств; кондиционированием воздуха с индивидуальным регулированием тепла и влажности по каютам; каютными модулями с санблоками (ванна, туалет), средняя площадь модуля 17 кв. м и больше; наличием центров отдыха для всех возрастных групп (солнечные палубы с шезлонгами, бассейны, индивидуальные балконы, библиотека, выставочные помещения и галереи, детские игровые комнаты, подростковые клубы, дискотеки, казино, интернет-кафе, залы игровых автоматов, спа-центры, огромные экраны на открытых палубах для просмотра кинофильмов, поля для мини-гольфа, каток, баскетбольная площадка, беговая дорожка, боксерский ринг, сауны, бани, массажерные, талассотерапия, тренажерные и т.п.); удобствами для людей с ограниченными физическими возможностями; другими составляющими отеля минимум класса 4 звезды.

5. Примером существенной модернизации может служить удлинение на 44,8 м КС «Costa Classica» (1992 года постройки) с организацией дополнительных 356 кают, новым рестораном, камбузом, казино, танцполом, бассейном, а также с заменой классической пропульсии на Азиподы.

После модернизации судно длиной x шириной x осадкой 265,4 м x 30,8 м x 7,3 м получило возможность перевозить 2516 пассажиров, причем в более комфортных и безопасных условиях (были учтены новые требования СОЛАС).

6. В 2016 году на внутренних водных путях Европы было выполнено 1,36 млн. речных круизов, на 2,7 % больше по сравнению с предыдущим годом.

Российский и украинский рынки круизных услуг являются частью общеевропейского туристического бизнеса. Некоторые европейские компании (Viking River Cruises) имеют свои дочерние компании в России и Украине, а остальные работают через ведущих отечественных туроператоров.

7. Строительство новых КС в Европе продолжается, хотя и медленнее, чем в предыдущие годы. В течение 2017 и 2018 годов количество новых судов продолжает медленно снижаться – в 2017 год было получено 17 новых судов, в 2018 году планируется построить 10. В целом, волна нового круизного судостроения, начавшаяся в 2010 году, и достигшая своего пика в 2014 году, сейчас подходит к концу.

8. Интересно отметить, что, несмотря на строительство новых круизных судов для многодневных путешествий, средний возраст пассажирских судов на реке Рейн за счет многочисленных прогулочных судов составляет 59 лет. 31 % флота был построен с 1876 по 1930 год.

9. Опыт эксплуатации речных КС в Европе будет полезен для отечественных круизных компаний, однако, простой перенос опыта стран ЕС в Россию и в Украину (Днепровские круизы), без понимания особенностей регионов в отношении условий плавания и погоды, невозможен. Например, навигационный период по ВВП Европы составляет порядка 240 дней, а в России 150-165 суток.

10. Существенно отличаются ветро-волновые нагрузки – КС в Европе работают в условиях рек и каналов при высотах волн до 0,6 м, а в России и Украине определяющим является эксплуатация по крупным озерам (разряд «М» для Ладожского и Онежского озер, высота волны до 3,0 м) и водохранилищам (разряд «О», высота волны до 2,0 м – Днепровские водохранилища), что не может не отразиться на металлоемкости корпусов судов и на повышенных требованиях к остойчивости и судовым устройствам (масса якорей, спасательные устройства).

11. Среднее число пассажиров на КС около 140 человек, экипажа 25-35 человек (в России и Украине численность экипажа на такую же численность пассажиров примерно в полтора раза больше). Для европейских КС, соответствующих гостинице 3-4-х звездочного уровня, отношение количества пассажиров к общему количеству экипажа и обслуживающего персонала находится в диапазоне 4-5; для 5-ти звездочных – 3-4.



Такая численность обусловлена тем, что в Европе очень активно применяется совмещение профессий, а также автоматизацией СЭУ, автоматизацией палубных работ (автоматические якорно-швартовные лебедки), автоматизацией процесса погрузки припасов и механизацией процесса уборки палуб (моечные машинки и т.п.). Основное отличие между экипажами КС в Европе и России/Украине – в численности палубной команды – на 3 человека и машинной команды – на 10-12 человек.

12. Основная тенденция в Европе сейчас состоит в постройке КС большей, чем раньше длины, и соответственно увеличенной пассажировместимостью в 180-200 человек при росте площадей кают. Операторы стремятся распределить высокие эксплуатационные расходы на большее количество пассажиров, чтобы избежать повышения цен на круизы и при этом улучшают уровень комфорта на новых КС.

13. Создание судов для «зеленых рейсов» («green cruising»). Применение дизель-электрической пропульсии, как более экологичной.

Очень эффективным техническим решением является обеспечение энергией на стоянках за счет подключения к береговым сетям, при этом судовые дизель-генераторы не работают.

Фактически происходит постепенная «зеленая» модернизация речного круизного флота. Помимо преимуществ для окружающей среды, эти новые технологии также улучшают комфорт пассажиров (снижение шума и местных выбросов загрязняющих веществ).

14. Предлагаются новые концепции для расширения своего предложения для разных путевых условий (колесные движители, катамараны).

15. В настоящее время отмечается заметная тенденция выполнения дифференцирования услуг. Европейский бизнес предлагает теперь не просто стандартные услуги, но и старается выделить каждый тур каким-либо особенным решением, например, особой кухней, классической музыкой и т.п. Такие подходы позволяют создать особые условия для каждой конкретной группы людей в зависимости от их образования, возраста, культурного уровня. КС все чаще используются как самоходные гостиницы, чтобы обеспечить прибытие клиентов к главным событиям, фестивалям, выставкам в определенных городах по маршруту круиза.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Cruise Lines International Association (CLIA) Releases 2018 State of the Cruise Industry Outlook and Cruise Travel Trends. WASHINGTON, DC, BRUSSELS, December 15, 2017. – 3 p.*
2. *The Global Cruise Industry. Cruise Industry News Quarterly Magazine. – № 89 (Volume 22). – New York, Summer 2012. – 144 p.*
3. *Hader A. Viele Neubauten für die Flusskreuzfahrt // Binnenschifffahrt: Das magazine für technik und logistic. – 2017. – № 3. – P. 34-36.*
4. *Market Observation for inland navigation in Europe. Report on the economic situation – mid-2007. Edited by the Secretariat of the Central Commission for Navigation on the Rhine Secretariat. – Observation of the market. – № 4. – Strasbourg, September 2007. – 58 p.*
5. *Market Observation for inland navigation in Europe. Analysis of the economic situation – Autumn 2010. Edited by the Secretariat of the Central Commission for Navigation on the Rhine Secretariat. – Observation of the market. – № 12. – Strasbourg, December 2010. – 124 p.*
6. *Market Observation for inland navigation in Europe. Analysis of the economic situation as of mid-2011. Edited by the Secretariat of the Central Commission for Navigation on the Rhine Secretariat. – Observation of the market. – № 13. – Strasbourg, June 2011. – 104 p.*
7. *Market Observation for inland navigation in Europe. Analysis of the economic conditions early 2012. Edited by the Secretariat of the Central Commission for Navigation on the Rhine Secretariat. – Observation of the market. – № 15. – Strasbourg, July 2012. – 84 p.*
8. *Market Observation for inland navigation in Europe. Analysis of the economic situation as of mid-2011 and outlook for 2012. Edited by the Secretariat of the Central Commission for Navigation on the Rhine Secretariat. – Observation of the market. – № 14. – Strasbourg, November 2011. – 81 p.*
9. *Market Observation for inland navigation in Europe. The Inland Navigation Market in 2013 and perspective for 2014/2015. Edited by the Secretariat of the Central Commission for Navigation on the Rhine Secretariat. – Observation of the market. – № 18. – Strasbourg, September 2014. – 122 p.*

10. *Market Observation for inland navigation in Europe. Annual Report 2017. Edited by the Secretariat of the Central Commission for Navigation on the Rhine Secretariat. – Observation of the market. – Strasbourg, September 2017. – 150 p.*
11. Егоров Г.В. Конверсия судов – один из путей сохранения отечественного торгового флота // *Судоходство. – № 11. – 2000. – С. 32-33.*
12. Егоров Г.В. Модернизация как способ продления срока службы и обеспечения безопасной эксплуатации существующих судов // *Вестник ОГМУ. – Одесса: ОГМУ, 2001. – Вып. 6. – С. 46-61.*
13. Егоров Г.В. Развитие представлений о реновации и конверсии судов в отечественных условиях // *Исследования по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта. – Владивосток: ДГТУ, 2001. – Вып. 41. – С. 26-33.*
14. Егоров Г.В. К проблеме поддержания приемлемого уровня надежности и рентабельности существующих судов // *Вестник ОНМУ. – Одесса: ОНМУ, 2002. – Вып. 9. – С. 72-88.*
15. Егоров Г.В. Анализ опыта европейских речных круизов и его влияние на новое поколение отечественных пассажирских судов // *Морской вестник. – 2012. – № 3 (43). – С. 23-28.*
16. Егоров Г.В., Калугин Я.В. Опыт модернизации и строительства речных круизных судов с использованием элементов судов-доноров // *Сб. научн. трудов НУК. – Николаев: НУК, 2013. – № 2. – С. 4-9.*
17. Егоров Г.В., Осадчий Е.А. Исследование возможности использования природного газа в качестве топлива судов смешанного плавания на примере танкера проекта RST27 // *Морская Биржа. – 2012. – № 1 (39). – С. 20-29.*
18. Ефремов Н.А. О строительстве судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания с ограниченным использованием элементов эксплуатирующихся судов. – М.: Российская Академия транспорта, 2003. – 76 с.
19. Литинская Е.С. АРТ-ТУР – по рекам Европы. – Турбизнес. – № 9. – 2012. – С. 44.
20. Логачев С.И., Чугунов В.В., Горин Е.А. Мировое судостроение: современное состояние и перспективы развития. – СПб.: Мор Вест, 2009. – 544 с.
21. Строительство судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания с использованием элементов эксплуатирувавшихся судов. Руководство. – Р.003-2003. – М.: Российский Речной Регистр, 2003. – 36 с.

22. Сайт компанії «Cruise Critic – Cruise Reviews and News». – URL.: <http://www.cruisecritic.com/articles.cfm?ID=521>.
23. Сайт компанії «STX Europe». – URL.: <http://www.stxeurope.com/Pages/default.aspx>.

*Стаття надійшла до редакції 20.11.2018 р.*

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машинознавство» Одеського національного морського університету  
**А.В. Конопльов**

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **О.В. Демідюк**

УДК 629.5.015.4

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПОГРУЖЕННОГО ОБЪЕМА СУДНА ПОРОЖНЕМ  
ДЛЯ СУДОВ СМЕШАННОГО РЕКА-МОРЕ ПЛАВАНИЯ**

**Н.В. Ефремова**

к.т.н., доцент кафедры

«Теория и проектирование корабля им. проф. Ю.Л. Воробьева»

*Одесский национальный морской университет*

**А.Е. Нильва**

к.т.н., ведущий научный сотрудник отдела мореходных качеств

*Морское Инженерное бюро, г. Одесса*

*Аннотация.* Воссозданы расчетные условия опытов кренования или взвешивания грузовых судов смешанного река-море плавания. Представлены результаты расчетов геометрических характеристик погруженного объема корпуса, определенных по масштабу Бонжана и по уточненной формуле Максимаджи (для наклонной плоской ватерлинии по осадкам, откорректированным на величину перегиба). Выполнено сравнение характеристик между собой и с нормативными величинами, приведена оценка достижимой точности.

*Ключевые слова:* суда смешанного река-море плавания, опыт кренования, опыт взвешивания, достижимая точность результатов

**ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
ЗАНУРЕНОГО ОБ'ЄМУ СУДНА ПОРОЖНЬОМУ  
ДЛЯ СУДЕН ЗМІШАНОГО РІКА-МОРЕ ПЛАВАННЯ**

**Н.В. Єфремова**

к.т.н., доцент кафедри

«Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова»

*Одеський національний морський університет*

**О.Ю. Нильва**

к.т.н., провідний науковий співробітник відділу морехідних якостей

*Морське Інженерне бюро, м. Одеса*

*Анотація.* Відтворені розрахункові умови дослідів кренування та зважування вантажних суден змішаного (море-ріка) плавання. Надані результати розрахунків геометричних характеристик зануреного об'єму корпусу, визначених за масштабом Бонжана та за уточненою формулою Максимаджи (для похилої плоскої ватерлінії за осадками, корегованими на величину перегину). Виконано порівняння характеристик між собою та з нормативними величинами, наведено оцінку досяжної точності.

*Ключові слова: судна змішаного (море-ріка) плавання, дослід кренування, дослід зважування, досяжна точність результатів.*

UDC 629.5.015.4

ASSESSMENT OF PRECISION OF SUBMERGED HULL PART  
CHARACTERISTICS DEFINITION  
FOR LIGHT WEIGHT OF RIVER-SEA VESSELS

N.V. Efremova

Doctor of Philosophy, Associate Professor  
Department «Of theory and ship design of them. Professor Vorobiev»

*Odessa National Maritime University*

A.E. Nilva

Doctor of Philosophy Department of seaworthiness,  
senior scientific researcher

*Marine Engineering Bureau*

*Abstract. Calculated conditions of workout of inclining tests and weighting tests for river-sea cargo vessels were recreated. Results of definition of geometric characteristics of submerged vessel's hull part are shown; calculations were made using two methods: Bonjean scale method and adjusted Maximadgy formula (for inclined waterline due to draughts corrected for sagging/hogging value).*

*Comparison of both set of characteristics between themselves and with normative values was carried out. Assessment of accessible precision is made. It was shown, that characteristics of submerged hull part defined by both methods are quite close. Usage of Maximadgy formula is acceptable for situations when sagging / hogging doesn't exceed three fourth of maximal Rule's recommended value.*

*Keywords: river-sea vessels, inclining test, weighting test, accessible precision of results.*

**Введение.** Суда смешанного река-море плавания – неотъемлемая часть флота любого государства с развитой системой портов и внутренних водных путей. В постсоветских странах такие суда, как показано в [1], обеспечивают экспортно-импортные перевозки и бесперевалочные каботажные перевозки, а также задействованы в рейдовой перевалке нефтепродуктов, зерна, серы и минеральных удобрений.

Для всех вновь построенных судов должно проводиться экспериментальное определение водоизмещения и координат центра тяжести судна порожнем – опыт кренования или опыт взвешивания.

Аналогично, для всех грузовых судов в эксплуатации после выполнения большого ремонта или значительного переоборудования /

модернизации может потребоваться проведение опыта кренования или взвешивания.

При проведении этих опытов необходимо с максимальной точностью определить геометрические характеристики погруженного объема. Это особенно важно для судов смешанного река-море плавания – как следствие специфики их архитектурно-конструктивного типа.

**Анализ основных достижений и литературы.** Главные размеры и форма корпуса судов смешанного река-море плавания, как показано в [2] и [3], полностью определяются путевыми условиями и объемами перевозимых грузов.

По сравнению с морскими судами при одинаковой длине у судов смешанного река-море плавания, как правило, более протяженная по длине цилиндрическая вставка и менее жесткий (более подверженный изгибу) корпус. При кормовом расположении машинного отделения порожнее судно сидит с дифферентом на корму и с перегибом.

Определение характеристик погруженного объема при проведении опытов кренования и взвешивания [4-7] выполняется по осадкам, определенным на марках углублений и / или по результатам измерения надводного борта (не менее чем в пяти точках по длине судна).

Прогиб / перегиб корпуса судна при этом должен учитываться любым достаточно точным способом.

Характеристики погруженного объема судна, сидящего с дифферентом при наличии перегиба можно определить двумя способами:

- с помощью масштаба Бонжана [8]; этот способ пригоден для любых величин деформации, однако достаточно трудоемок;
- расчетом по приведенным осадкам, откорректированным на прогиб или перегиб в соответствии с одним из распространенных приближенных методов [9; 10]; данные методики просты, однако их использование требует верификации полученных результатов, в особенности координат центра величины и метacentра.

**Анализ точности определения водоизмещения, координат центра величины и аппликаты метacentра в опытах взвешивания и кренования является актуальной задачей.**

**Цель исследования, постановка задачи.** Целью работы является оценка достижимой точности определения характеристик погруженного объема судна смешанного река-море плавания при проведении опытов взвешивания и кренования.

**Для этого должны быть решены две последовательные задачи:**

- определение водоизмещения, координат центра величины и аппликаты метacentра для выбранных условий и объектов различными способами;
- сравнение и анализ результатов.

**Материалы исследования.** В данной работе в качестве объектов исследования выбраны элементы погруженных объемов корпусов

нескольких грузовых судов смешанного река-море плавания со сходными главными размерениями. Были воссозданы расчетные условия опытов кренования или взвешивания, которым подвергались эти суда.

Перечень судов приведен в табл. 1.

В ней указаны номера проектов судов, длина между перпендикулярами  $L$ , ширина  $B$ , высота борта на миделе  $D$ , осадки носом  $d_H$  и кормой  $d_K$  в условиях опыта, величина перегиба  $\delta d$ .

Величина перегиба  $\delta d$  определена по формуле

$$\delta d = d_{\text{мид}} - \frac{d_H + d_K}{2}, \quad (1)$$

где  $d_{\text{мид}}$  – осадка судна на миделе.

Таблица 1

*Основные характеристики судов*

Судно	Проект	$L$ , м	$B$ , м	$D$ , м	$d_H$ , м	$d_K$ , м	$\delta d$ , м
Авиор	1743	105,0	14,8	5,0	0,28	1,84	-0,06
Смарт	1743	105,0	14,8	5,0	0,31	2,00	-0,02
Оникс	1743	105,0	14,8	5,0	0,28	1,84	0
Волго-Балт 246	2-95A/R	110,0	13,0	5,5	0,63	2,09	-0,12
Старополье	2-95A/R	110,0	13,0	5,5	0,52	2,12	-0,03
Надежда	15881	117,0	16,4	7,5	0,60	4,39	-0,15
Валентина	15881	117,0	16,4	7,5	0,57	4,34	-0,21
Симпати	1565	135,0	16,5	5,5	0,58	2,00	-0,18
Волжский-44	05074	135,0	16,5	5,5	0,51	2,10	-0,06
Волго-Дон 215	507Б	135,0	16,5	5,5	0,81	2,21	-0,38
Николай Мешков	507Б	135,0	16,5	5,5	0,74	2,17	-0,30
Капитан Пшеницин	630	134,2	16,5	6,4	1,41	2,47	-0,28
Капитан Щемилкин	630	134,2	16,5	6,4	0,34	2,93	-0,27
Капитан Загрядцев	RSD44	138,9	16,5	5,0	0,52	1,52	-0,03

*Расчет по масштабу Бонжана*

Расчет геометрических характеристик погруженного объема корпуса судна с использованием масштаба Бонжана проводился по типовой методике. По значениям пяти осадок судна, полученным в опыте, строилась плавная кривая, определяющая действующую ватерлинию. Далее по ней определялись осадки на каждом теоретическом шпангоуте.

Для каждого шпангоутного сечения вычислялись геометрические характеристики смоченной части – с использованием программного комплекса «Диалог-Статик», задача «Расчет масштаба Бонжана». Дальнейшие вычисления в табличной форме позволяли определить водоизмещение



$\Delta^{(I)}$ , координати центра величини (ЦВ)  $x_c^{(I)}$ ,  $z_c^{(I)}$  и аппликату поперечного метacentра  $z_m^{(I)}$  для погруженного объема корпуса. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

*Элементы водоизмещения при расчете по масштабу Бонжана*

Судно	$\Delta^{(I)}$ , т	$x_c^{(I)}$ , м	$z_c^{(I)}$ , м	$z_m^{(I)}$ , м
Авиор	1226,8	-7,19	0,58	18,13
Смарт	1375,9	-7,63	0,67	16,43
Оникс	1282,5	-7,49	0,61	17,44
Волго-Балт 246	1419,6	-6,88	0,72	11,26
Старополье	1474,4	-7,57	0,75	10,92
Надежда	3168,9	-9,65	1,44	9,49
Валентина	3048,1	-9,87	1,40	9,72
Симпати	2033,1	-9,70	0,67	20,34
Волжский-44	2249,1	-9,86	0,74	18,70
Волго-Дон 215	2084,6	-7,84	0,66	20,20
Николай Мешков	2185,4	-9,62	0,71	19,36
Капитан Пшеницин	3122,9	-1,05	0,90	14,03
Капитан Щемилкин	2525,1	-11,78	0,89	17,24
Капитан Загрядцев	1912,6	-5,66	0,54	24,25

*Расчет с использованием приведенных осадок*

При использовании приближенных методик данного направления [9, 10], «искривленная» ватерлиния заменяется плоской; для учета прогиба или перегиба истинные осадки в носу  $d_H$  и в корме  $d_K$  заменяются приведенными  $d_F$ ,  $d_A$  соответственно.

Расчетные формулы для приведенных осадок записываются в виде

$$\left. \begin{matrix} d_F \\ d_A \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} d_H \\ d_K \end{matrix} \right\} + k \cdot \delta d. \quad (2)$$

Поправочный коэффициент  $k$  согласно [10] может принимать значения 2/3 или 3/4 в зависимости от типа и размерений судна, Максимаджи А.И. [9] предложил более точную формулу, учитывающую полноту действующей ватерлинии

$$k \approx 1 - 0.34\alpha, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент полноты ватерлинии.

Расчеты элементов погруженного объема – водоизмещения  $\Delta^{(II)}$ , координат ЦВ  $x_c^{(II)}$ ,  $z_c^{(II)}$ , аппликаты поперечного метacentра  $z_m^{(II)}$  – по

приведенным осадкам  $d_F$ ,  $d_A$  с поправочным коэффициентом (3) выполнены с использованием программного комплекса «Диалог-Статик», задача «Элементы водоизмещений при различной посадке». Результаты расчетов приведены в табл. 3.

### Результаты исследований

Далее выполнено сравнение результатов расчета элементов погруженных объемов, полученных различными способами (табл. 2 и 3) между собой и с некоторыми величинами, принятыми за эталонные.

Таблица 3

#### Элементы водоизмещения при расчете по приведенным осадкам

Судно	$\Delta^{(II)}$ , т	$x_c^{(II)}$ , м	$z_c^{(II)}$ , м	$z_m^{(II)}$ , м
Авиор	1229,9	-7,75	0,59	18,09
Смарт	1392,4	-7,67	0,66	16,26
Оникс	1285,8	-7,46	0,61	17,40
Волго-Балт 246	1422,2	-7,28	0,72	11,38
Старополье	1453,3	-7,91	0,74	11,20
Надежда	3175,6	-9,41	1,43	9,46
Валентина	3051,0	-9,63	1,39	9,68
Симпати	2047,1	-9,67	0,66	20,24
Волжский-44	2241,6	-10,21	0,73	18,77
Волго-Дон 215	2194,0	-9,01	0,70	19,11
Николай Мешков	2198,6	-9,21	0,70	19,08
Капитан Пшеницин	3135,1	-1,32	0,90	14,05
Капитан Щемилкин	2544,6	-11,82	0,88	17,02
Капитан Загрядцев	1886,5	-5,84	0,53	24,19

Для анализа результатов расчета определены (табл. 4):

- разности водоизмещений

$$\delta\Delta = \Delta^{(II)} - \Delta^{(I)}; \quad (4)$$

- абсцисс центров величины

$$\delta x_c = x_c^{(II)} - x_c^{(I)}; \quad (5)$$

- аппликаты поперечных метацентров

$$\delta z_m = z_m^{(II)} - z_m^{(I)}. \quad (6)$$

Таблиця 4

*Сравнение элементов погруженного объема,  
определенных по масштабу Бонжана  
и по уточненной формуле Максимаджи*

Судно	Водоизмещение		Абсцисса ЦВ		$\delta z_m, \text{м}$
	$\delta \Delta, \text{т}$	$1\% \Delta_0, \text{т}$	$\delta x_c, \text{м}$	$0,5\% L, \text{м}$	
Авиор	3,1	11,70	-0,56	0,525	-0,04
Смарт	16,5	13,37	-0,04	0,525	-0,17
Оникс	3,3	12,27	0,03	0,525	-0,04
Волго-Балт 246	2,6	13,85	-0,40	0,550	0,12
Старополье	-21,1	14,35	-0,34	0,550	0,28
Надежда	6,4	30,14	0,24	0,585	-0,03
Валентина	2,9	29,95	0,24	0,585	-0,04
Симпати	14,0	19,61	0,03	0,675	-0,10
Волжский-44	-7,5	21,28	-0,34	0,675	0,07
Волго-Дон 215	109,4	19,89	-1,17	0,675	-1,09
Николай Мешков	13,2	20,66	0,27	0,675	-0,28
Капитан Пшеницин	12,2	2428	-0,27	0,670	0,02
Капитан Щемилкин	19,5	24,62	-0,04	0,670	-0,22
Капитан Загрядцев	-26,1	18,50	-0,18	0,695	-0,06

Аппликаты центров величины, определенные обоими способами, как и ожидалось, практически совпадают – разность не превышает 0,01м.

В качестве эталонных величин выбраны критерии, определяющие необходимость проведения опыта кренования по результатам опыта взвешивания – для вновь построенных судов [11-13]:

- для водоизмещения – 1 % от водоизмещения порожнем  $\Delta_0$ ;
- для абсциссы ЦВ – 0,5 % от длины судна между перпендикулярами. (В Правилах используется длина деления судна на отсеки, которая несколько больше, чем длина между перпендикулярами, что приводит к небольшой ошибке в безопасную сторону).

Для существующих судов эти критерии в два раза «мягче».

Результаты, приведенные в табл. 4, говорят о следующем:

- для всех судов, кроме т/х «Волго-Дон 215», ошибка при определении водоизмещения или меньше установленного критерия  $0,01\Delta_0$  или, по крайней мере, не превышает  $0,015\Delta_0$ ;
- для всех судов, кроме т/х «Волго-Дон 215», ошибка при определении абсциссы ЦВ или меньше установленного критерия, или – для т/х «Авиор» – очень близка к нему;

- для всех судов, кроме т/х «Волго-Дон 215», ошибка при определении аппликаты ЦВ имеет приемлемую величину, она объясняется сильной чувствительностью изменения величины поперечного метацентрического радиуса при малом изменении осадки в диапазоне осадок, характерных для опытов кренования / взвешивания;

- «вылет» ошибки определения всех параметров для т/х «Волго-Дон 215» мог бы объясняться значительным перегибом 0,38 м – самым большим из исследуемого перечня. С другой стороны, на однотипном судне т/х «Николай Мешков» перегиб не намного меньше, 030 м, что не приводит к катастрофическим «вылетам». По-видимому, имеют место остаточные деформации корпуса т/х «Волго-Дон 215», которые дают большую ошибку при использовании «спрямленной» расчетной ватерлинии;

- «вылет» ошибки при определении абсциссы ЦВ для т/х «Авиор» по сравнению с однотипными судами также может объясняться наличием остаточных деформаций корпуса.

#### *Допускаемые границы ошибок расчетов*

Для определения диапазона ошибок величин вычисляемых параметров при допускаемой Правилами неточности определения осадок были проведены численные эксперименты.

В соответствии с Правилами, точность измерения осадок составляет 0,01 м [11-13]. В первом эксперименте исследовались ошибки, искажающие дифферент при неизменной средней осадке. Приведенные осадки  $d_F$  и  $d_A$  разнонаправлено изменялись на 0,01 м (таблица 5):

$$\left. \begin{matrix} d_{F1} \\ d_{A1} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} d_F \\ d_A \end{matrix} \right\} \mp 0.01; \quad \left. \begin{matrix} d_{F2} \\ d_{A2} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} d_F \\ d_A \end{matrix} \right\} \pm 0.01. \quad (7)$$

Изменение абсциссы ЦВ

$$\delta x_c^* = x_{c2} - x_{c1}. \quad (8)$$

По результатам получается, что изменение дифферента в пределах разрешенной ошибки определения осадок приводит к погрешности определения абсциссы ЦВ в пределах 0,25 % L.

Во втором эксперименте исследовались ошибки, искажающие осадку на миделе в опыте при неизменном дифференте. Осадка  $d_{mid}$  разнонаправлено изменялась на 0,01 м (таблица 6).

В таблице обозначено

$$\delta z_m^* = z_{m2} - z_{m1}; \quad (9)$$

$q_1, q_2$  – число тонн на 1 см осадки при соответствующих значениях осадок на миделе;

$h$  – начальная метацентрическая высота судна в опыте.

Таблиця 5

*Изменение абсциссы ЦВ при малом изменении дифферента*

Судно	$d_{F1}$ , м	$d_{A1}$ , м	$x_{c1}$ , м	$d_{F2}$ , м	$d_{A2}$ , м	$x_{c2}$ , м	$\delta x_c^*$ , м
Авиор	0,24	1,82	-7,80	0,26	1,80	-7,54	0,26
Смарт	0,29	1,99	-7,78	0,31	1,97	-7,54	0,24
Оникс	0,27	1,85	-7,52	0,29	1,83	-7,27	0,25
Волго-Балт 246	0,54	2,02	-7,38	0,56	2,00	-7,16	0,22
Старополье	0,48	2,10	-8,05	0,50	2,08	-7,84	0,21
Надежда	0,48	4,30	-9,46	0,50	4,28	-9,35	0,11
Валентина	0,42	4,21	-9,63	0,44	4,19	-9,51	0,12
Симпати	0,45	1,89	-9,74	0,47	1,87	-9,45	0,29
Волжский-44	0,46	2,07	-10,37	0,48	2,05	-10,10	0,27
Волго-Дон 215	0,56	1,96	-9,03	0,58	1,94	-8,74	0,29
Николай Мешков	0,53	1,99	-9,29	0,55	1,97	-9,01	0,28
Капитан Пшеницин	1,21	2,29	-1,40	1,23	2,27	-1,19	0,21
Капитан Щемилкин	0,14	2,75	-11,92	0,16	2,73	-11,66	0,26
Капитан Загрядцев	0,49	1,51	-6,02	0,51	1,49	-5,63	0,39

Таблиця 6

*Изменение водоизмещения и аппликаты поперечного метацентра при малом изменении осадки на миделе*

Судно	$d_{mid}$ , м	$d_{mid} - 0,01$		$d_{mid} + 0,01$		$\delta z_m^*$ , м	$h$ , м
		$q_1$ , т	$z_{m1}$ , м	$q_2$ , т	$z_{m2}$ , м		
Авиор	1,01	13,11	17,93	13,12	17,61	-0,32	13,35
Смарт	1,13	13,19	16,15	13,20	15,89	-0,26	11,60
Оникс	1,06	13,14	17,14	13,15	16,84	-0,30	12,85
Волго-Балт 246	1,24	12,11	11,75	12,12	11,58	-0,17	6,69
Старополье	1,28	12,14	11,42	12,15	11,27	-0,15	6,21
Надежда	2,34	14,52	9,23	14,54	9,18	-0,05	2,68
Валентина	2,25	14,46	9,48	14,48	9,42	-0,06	2,79
Симпати	1,11	19,09	21,16	19,12	20,82	-0,34	15,49
Волжский-44	1,25	19,28	18,99	19,31	18,72	-0,27	14,31
Волго-Дон 215	1,13	19,12	20,82	19,15	20,49	-0,33	15,32
Николай Мешков	1,16	19,16	20,33	19,19	20,02	-0,31	14,21
Капитан Пшеницин	1,66	19,45	14,47	19,47	14,32	-0,15	10,17
Капитан Щемилкин	1,36	19,16	17,26	19,18	17,04	-0,22	12,70
Капитан Загрядцев	0,99	20,23	23,67	20,24	23,21	-0,46	20,09

Таким образом, разрешенная ошибка в определении водоизмещения составляет  $2 \cdot q$ , разрешенная ошибка в определении аппликаты поперечного метacentра составляет не более 2,5 % от величины начальной метacentрической высоты судна в опыте.

### Выводы

1. Элементы погруженного объема корпуса, определенные по масштабу Бонжана и по уточненной формуле Максимаджи (для наклонной плоской ватерлинии по приведенным осадкам), достаточно близки.

2. Применение формулы Максимаджи можно рекомендовать при значениях стрелки прогиба / перегиба, не превышающих трех четвертей от рекомендованной Правилами граничной величины деформации  $0,0025 L$ .

3. Погрешность определения водоизмещения и абсциссы ЦВ (критерий необходимости проведения опыта кренования по результатам взвешивания) при практически достижимой точности осадок, полученных в опыте, составляет примерно половину от нормативов, заданных в Правилах; точнее эти характеристики не определяются.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Перспективы существующих судов смешанного река-море и внутреннего плавания // Вісник ОНМУ. – Одеса: Вид-во ОНМУ. – 2017. – № 3(52). – С. 26-56.
2. Егоров Г.В., Тонюк В.И. Азовские/каспийские пятитысячники – сухогрузные многоцелевые суда проекта RSD18 // Вісник ОНМУ. – Одеса: Вид-во ОНМУ. – 2016. – № 3(49). – С. 5-16.
3. Егоров Г.В., Тонюк В.И., Ворона О.А., Бутенко Н.В. Обоснование главных параметров комбинированных судов смешанного река-море плавания для перевозки нефтепродуктов, навалочных грузов, контейнеров, накатной техники и негабаритов // Вісник ОНМУ. – Одеса: Вид-во ОНМУ. – 2017. – № 3(52). – С. 79-95.
4. Инструктивные указания по кренованию судов: Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов. – Ч. V. – Приложение 10. – Российский морской регистр судоходства, 2017.
5. Инструктивные указания по взвешиванию судов: Руководство по техническому надзору за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов. – Ч. V. – Приложение 11. – Российский морской регистр судоходства, 2017.

6. *Инструкция по кренованию судов: Руководство по техническому наблюдению за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий. – Ч. V. – Приложение 11. – Регистр судоходства Украины, 2005.*
7. *Инструкции по определению положения ЦТ судна из опыта (Инструкция по кренованию судна): Правила классификации и постройки судов. – Ч. II. – Приложение 2. – Российский речной регистр, 2015.*
8. *Справочник по теории корабля. – В 3-х т. / Под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – Т.2. Статика судов. Качка судов. – 440 с.*
9. *Максимаджи А.И. Капитану о прочности корпуса судна: Справочник / А.И.Максимаджи. – Л.: Судостроение, 1988. – 224 с.*
10. *Dibble J., Mitchel P. Draught surveys. – North of England P&I Association, 2009. – 54 p.*
11. *Правила классификации и постройки морских судов. – Ч. IV. – П.1.5. – Российский морской регистр судоходства, 2018.*
12. *Правила классификации и постройки морских судов. – Ч. IV. – П.1.5. – Регистр судоходства Украины, 2011.*
13. *Правила классификации и постройки судов. – Ч. II. – П.1.6. – Российский речной регистр, 2015.*

*Стаття надійшла до редакції 05.06.2018*

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, генеральний директор  
Морського Інженерного Бюро **Г.В. Єгоров**

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **О.В. Демідюк**

УДК 629.5.01

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
МОРСКИХ НЕФТЕХИМОВОЗОВ ДЕДВЕЙТОМ  
СВЫШЕ 10000 ТОНН В ПЕРВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ**

**Н.Н. Котовская**

ст. преподаватель

кафедры «Теория и проектирование корабля им. проф. Ю.Л. Воробьева»

*Одесский национальный морской университет*

***Аннотация.** Выполнен анализ основных характеристик морских нефтехимовозов дедвейтом более 10000 тонн. Рассмотрено двадцать три судна данного типа. Предлагаются графические и аналитические зависимости для определения главных размерений, грузовместимости и мощности главной энергетической установки рассматриваемых судов в первом приближении.*

***Ключевые слова:** проектирование, наливные суда, наливные грузы, морские нефтехимовозы, главные размерения, грузовместимость, дедвейт, архитектурно-конструктивный тип, неограниченный район плавания.*

**ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
МОРСЬКИХ НАФТОХІМОВОЗІВ ДЕДВЕЙТОМ  
ПОНАД 10000 ТОНН У ПЕРШОМУ НАБЛИЖЕННІ**

**Н.Н. Котовська**

ст. викладач

кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова»

*Одеський національний морський університет*

*Виконано аналіз основних характеристик морських нафтохімовозів дедвейтом більш 10000 тон. Розглянуто двадцять три судна даного типу. Пропонуються графічні і аналітичні залежності для вибору головних розмірів, вантажомісткості і потужності головної енергетичної установки даних суден у першому наближенні.*

***Ключові слова:** проектування, наливні судна, наливні вантажі, морські нафтохімовози, головні розміри, вантажомісткість, дедвейт, архітектурно-конструктивний тип, необмежений район плавання.*

**DETERMINATION OF MAIN DESCRIPTIONS  
OF MARINE OIL/CHEMICAL TANKERS WITH DEADWEIGHT  
MORE THAN 10000 TONS IN THE FIRST APPROACHING**

**N.N. Kotovskaya**

Senior Lecturer

Department of «Theory and Design of the Ship named after Prof. Y.L. Vorobiev»

*Odessa National Maritime University*



*The analysis of basic characteristics of marine oil/chemical tankers by a deadweight more than 10000 tons is produced. Marine ships of unlimited navigation area are examined, that is intended for transportation of crude oil and oil products, and also liquid chemical loads of one and few kinds and that have structural defence 2 and 3 degrees. The analysis of features of architectonically-structural type of these ships and construction of hull is produced. The turn-down of correlation of main dimensions and speed of motion of these ships is certain. Graphic and analytical dependences are offered for the determination of main dimensions, of cargo capacity and output of main engine of the examined courts in the first approaching.*

**Keywords:** *design, tankers, bulk freights, marine oil/chemical Tanker, main dimensions, cargo capacity, deadweight, architectural and constructive type, unlimited navigation area.*

**Постановка проблеми.** Современные наливные суда, предназначенные для перевозки химических грузов, проектируются в основном как нефтехимовозы и составляют свыше 80 % общего количества судов, перевозящих химические грузы.

Нефтехимовозы – комбинированные наливные суда, предназначенные для перевозки сырой нефти и нефтепродуктов в одном направлении и жидких химических грузов в обратном направлении в одних и тех же грузовых танках.

Флот морских нефтехимовозов насчитывает несколько сотен судов и их количество продолжает расти. Большую часть этого флота составляют малые морские суда неограниченного района плавания дедвейтом до 10000 тонн. Анализ основных характеристик малых морских нефтехимовозов неограниченного района плавания был выполнен А.С. Потравко в работе [1].

В связи с развитием химической промышленности и ростом количества ее потребителей появилась необходимость в постройке более крупных нефтехимовозов, число которых с каждым годом увеличивается.

Несмотря на большое количество судов данного типа методика их проектирования до сих пор не разработана.

**Цель исследования** – на основании статистического анализа основных характеристик построенных и спроектированных морских нефтехимовозов неограниченного района плавания дедвейтом более 10000 тонн разработать методику определения грузовместимости, главных размеров и мощности главной энергетической установки этих судов в первом приближении при проектировании.

**Изложение основного материала.** В работе рассматриваются морские суда неограниченного района плавания дедвейтом более 10000 тонн, которые предназначены для перевозки сырой нефти и нефтепродуктов, а также жидких химических грузов одного или нескольких видов и которые имеют конструктивную защиту 2 и 3 степени [2]. Было рассмотрено двадцать три судна, основные характеристики которых приведены в таблице [3; 4].

Таблиця  
Основные характеристики морских нефтехимовозов неограниченного района плавания

№ п/п	Наименование судна	Число судов в серии	Главные размеры, м					Дедвейт, т	Скорость, уз.	Мощность главных двигателей, кВт	Вместимость грузовых танков, м <sup>3</sup>	Число грузовых танков	Степень конструктивной защиты	Место постройки
			длина наибольшая	длина расчетная	ширина	высота борта	осадка							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Crystal Diamond	2	126,2	119,2	19,0	10,7	7,6	9751	14,17	5400	12120	16	2	INP Heavy Industries Co Ltd, Korea
2	Clipper Katina	14	116,5	109,0	20,0	11,7	8,05	10696	13,98	4440	12511	10	2,3	STX Shipbuilding Co Ltd, Busan, Korea
3	Bit Oktanیا	1	134,8	126,6	21,6	11,5	9,0	13600	14,1	6300	15067	14	2,3	Shanghai Edwards Shipbuilding Co Ltd, China
4	13700 DWT Oil/Chemical Tanker	1	134,4	127,0	20,8	11,0	7,4	11200	14,5	6150	14400	12	2	Jiangnan Shipyard (Group) Co Ltd
5	Tarnvag	1	141,2	133,0	21,6	11,5	8,7	14000	14,7	6300	16000	14	2	Shanghai Edwards Shipbuilding Co Ltd, China
6	Bro Deliverer	3	146,8	134,4	22,0	11,8	8,2	14776	13	4760	19043	13	2,3	Jinling Shipyard, China
7	Pascale Knutsen	1	141,65	133,83	23	12,13	8,01	14848	13,45	5240	17850	10	2	S.A. Juliana Constructora Gijonesa, Gijon/España

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8	15200 DWT Product/ Chemical Tanker	-	139,75	134,7	21,0	10,6	8,08	15267	14,0	6000	16050	12	2	TVK Shipyard
9	Ramona	2	144	134,4	21,5	12,5	8,0	13200	14,5	6300	19200	-	2	Shanghai Edwards Shipbuilding Co Ltd. China
10	Альгаир	1	149,3	141	23,8	12,65	8,52	17553	15,5	-	23350	-	-	Ujanik Словакия
11	Algoscotia	1	148,8	138,2	23,76	12,8	9,0	18000	14,0	6300	21110	14	2	Jiangnan Shipyard
12	FS Philippine	3	140	134	23	12,4	8,3	15651	14	6300	19444	10	2	ENVC, Portugal
13	Nb01	1	149,95	142,9	23,2	13,05	9,95	19990	14,5	5920	22224	14	2	Soli Shipyard
14	25000 DWT Oil/ Chemi- cal Tanker	1	169,9	159,06	25,4	14,9	10,9	25000	14,0	7200	30000	14	2	Eregll Shipyard
15	Ottomana	2	169,0	158,7	27,4	14,6	9,5	25000	15,5	8670	33000	12	2	Selik Tekne Shipyard, Turkey

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	Castillo De Trujillo	-	182,14	174,85	25,3	14,8	11,37	30583	15,0	8532	37187	-	3	Duzgit (Maks Tanker)
17	Bunga Melati Satu	2	177,15	168	30	15,2	10,0	30317	14,8	6350	35909	34	2,3	Hyundai Heavy Industries Co Ltd, Korea
18	33000 DWT Oil/Chemical Tanker	1	183,0	179,0	28,4	15,2	10,4	30000	14,0	6050	38400	28	2	Проект
19	Huntestern	1	184,9	176,0	31,0	16,4	10,6	37300	15,2	8580	-	16	2	Jinling Shipyard, 2005
20	Chemical Tanker B588	1	182,8	175,25	32,2	17,95	11,5	40000	15,3	12750	52100	-	1,2,3	Проект
21	Bunga Bakawali	4	183,0	174,0	-	-	12,1	45553	15,0	9480	53502	20	2	SLS Shipbuilding Co., Ltd
22	Барен-цеево море	1	182,5	174,8	32,19	17,5	12,2	47363	15,4	-	54298	-	-	Хорватия
23	Oil/Chemical Tanker	1	182,5	175,0	32,2	18,0	12,6	49000	14,4	9480	56500	12	2,3	Проект

По архитектурно-конструктивному типу – это однопалубные суда, с баком и ютом, машинным отделением в корме, с двойным дном и двойными бортами в районе грузовых танков. Количество грузовых танков от 8 до 24. Большинство из рассмотренных судов имеют избыточный надводный борт [5].

Все рассмотренные суда имеют бульб в носу и транцевую корму, носовое подруливающее устройство.

На нефтехимовозах установлены двигатели внутреннего сгорания с прямой передачей на винт либо через редуктор с понижением частоты вращения гребного винта. Установки одновальные.

Конструкция корпуса характеризуется наличием большого числа гофрированных поперечных переборок и одной диаметральной гофрированной продольной переборкой. Между грузовыми танками и носовыми отсеками, а также между группами грузовых танков, предназначенными для перевозки несовместимых сортов груза, устроены коффердамы. Судовой набор корпуса этих судов в районе грузовых танков вынесен на верхнюю палубу, в двойные борта и двойное дно. На отдельных судах корпус в районе грузовых танков выполнен из нержавеющей стали [6].

Соотношения главных размерений данных судов лежат в следующем диапазоне:

$$L(bp)/B = 5,4 \div 6,9; L(bp)/D = 9,7 \div 12,7; B/d = 2,2 \div 2,9; D/d = 1,3 \div 1,6.$$

Скорость хода этих судов изменяется от 13,5 узлов до 15,5 узлов, что соответствует числам Фруда  $Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$  от 0,18 до 0,21.

Зависимость вместимости грузовых танков  $W_{zp}$ , м<sup>3</sup>, от дедвейта  $Dw$ , т представлена на рис. 1, которая аппроксимируется выражением

$$W_{zp} = 1,2Dw - 947, \text{ м}^3. \quad (1)$$

Вместимость чисто балластных танков у этих судов составляет от 34 % до 42 % от грузовместимости, в среднем – 38 % от грузовместимости.

Зависимость кубического модуля  $L(bp)BD$ , м<sup>3</sup> от дедвейта  $Dw$ , т представлена на рис. 2. Выражение для определения кубического модуля имеет вид

$$L(bp)BD = 2,24Dw + 3048, \text{ м}^3. \quad (2)$$

Длина между перпендикулярами изменяется от 109 м до 185 м в зависимости от дедвейта, как показано на рис. 3, и ее можно определить в виде

$$L(bp) = 64,9 + 5,3 \cdot 10^{-3} Dw - 6 \cdot 10^{-8} Dw^2, \text{ м}. \quad (3)$$

Была рассмотрена также зависимость длины между перпендикулярами от дедвейта  $Dw^{1/3}$ , представленная на рис. 4, которая аппроксимируется выражением

$$L(bp) = 4,4Dw^{1/3} + 25,8, \text{ м.} \quad (4)$$

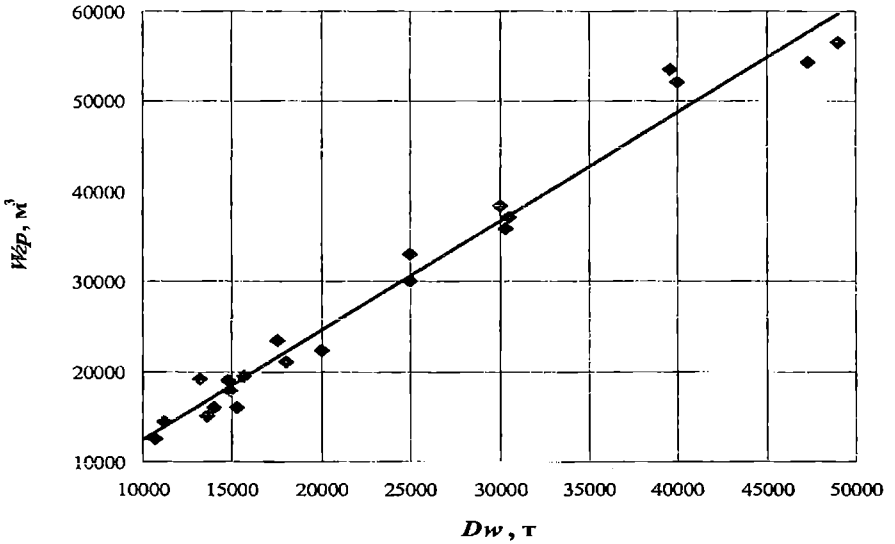


Рис. 1. Зависимость грузовместимости от дедвейта

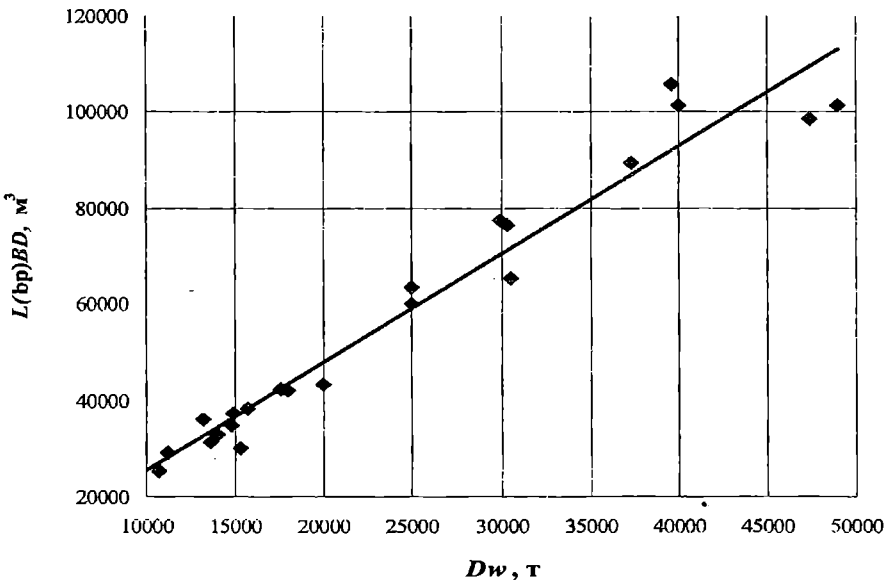


Рис. 2. Зависимость кубического модуля от дедвейта

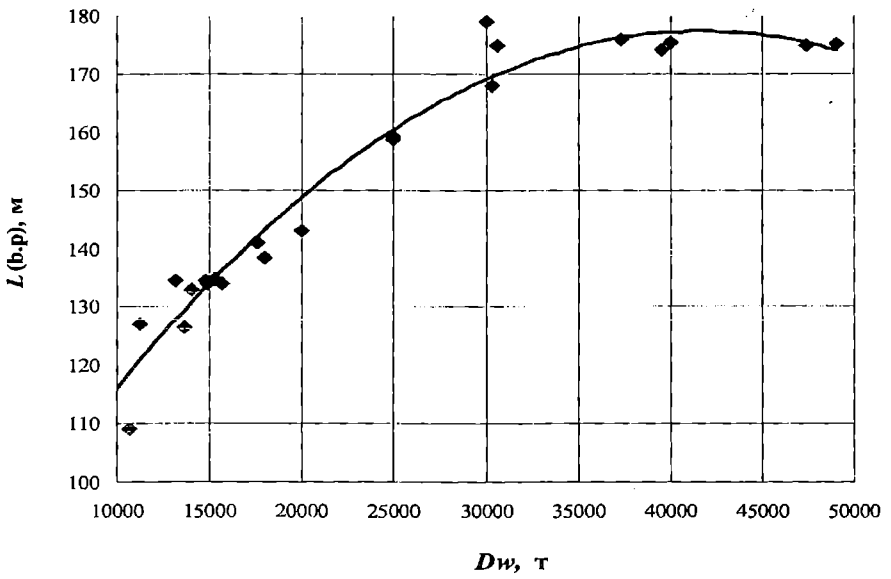


Рис. 3. Зависимость длины между перпендикулярами от дедвейта

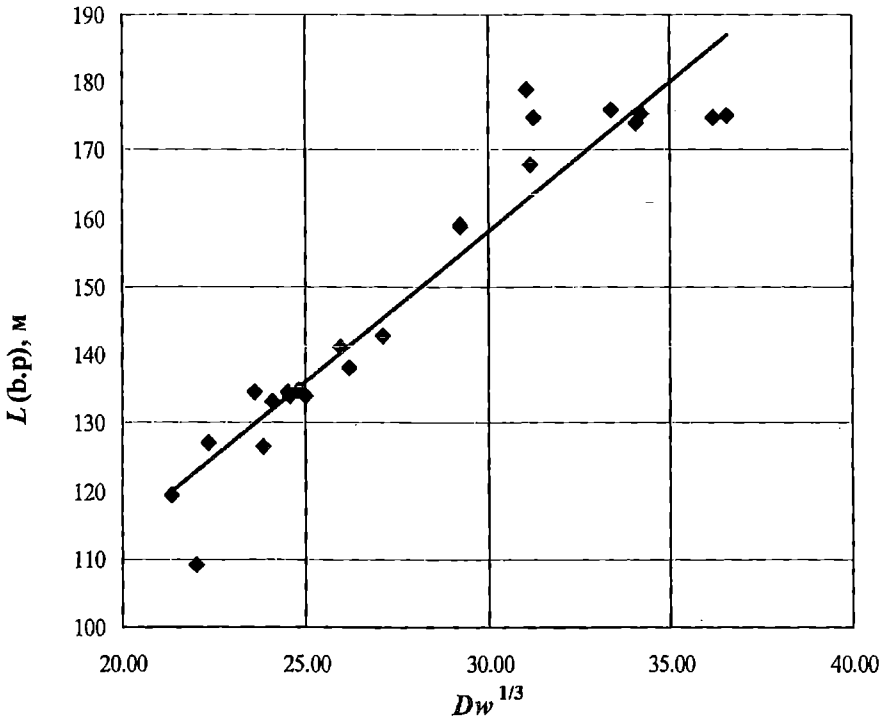


Рис. 4. Зависимость длины между перпендикулярами от  $Dw^{1/3}$

При определении длины между перпендикулярами в зависимости от дедвейта плучается меньшая ошибка, поэтому рекомендуется определять длину между перпендикулярами в функции от дедвейта.

Наибольшая длина представлена зависимостью от длины между перпендикулярами на рис. 5 и определяется выражением

$$L_{\max} = L(bp) + 8,6, \text{ м.} \quad (5)$$

Проанализирована зависимость ширины судна  $B$  от дедвейта  $Dw$  и  $Dw^{1/3}$ . Эти зависимости представлены на рис. 6 и рис. 7.

Получены выражения

$$B = 16,9 + 4 \cdot 10^{-4} Dw, \text{ м,} \quad (6)$$

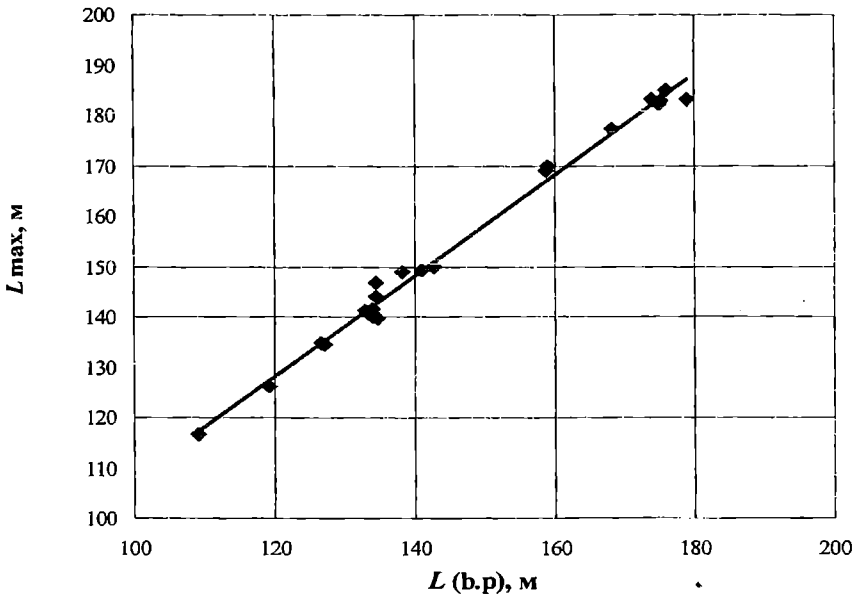
$$B = 0,9Dw^{1/3} - 0,34, \text{ м.} \quad (7)$$

Более точно ширина определяется в функции от  $Dw^{1/3}$ .

Зависимости высоты борта  $D$  от дедвейта  $Dw$  и кубического модуля  $L(bp)BD$  представлены на рис. 8 и рис. 9, которые аппроксимируются выражениями

$$D = 9,04 + 2 \cdot 10^{-4} Dw, \text{ м,} \quad (8)$$

$$D = 8,7 + 9 \cdot 10^{-5} L(bp)BD, \text{ м.} \quad (9)$$



*Рис. 5. Зависимость наибольшей длины от длины между перпендикулярами*



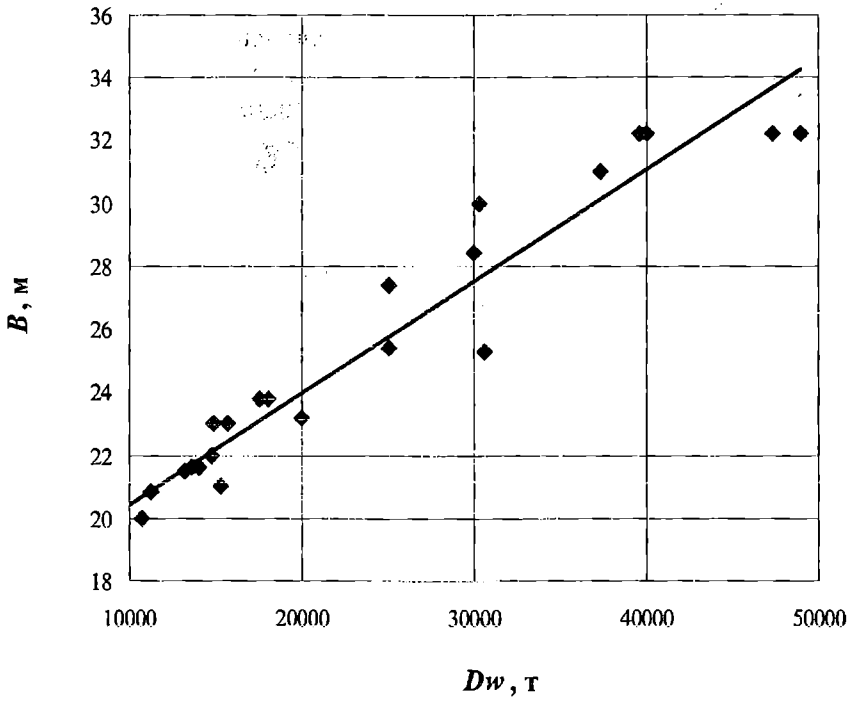


Рис. 6. Зависимость ширины судна от дедвейта

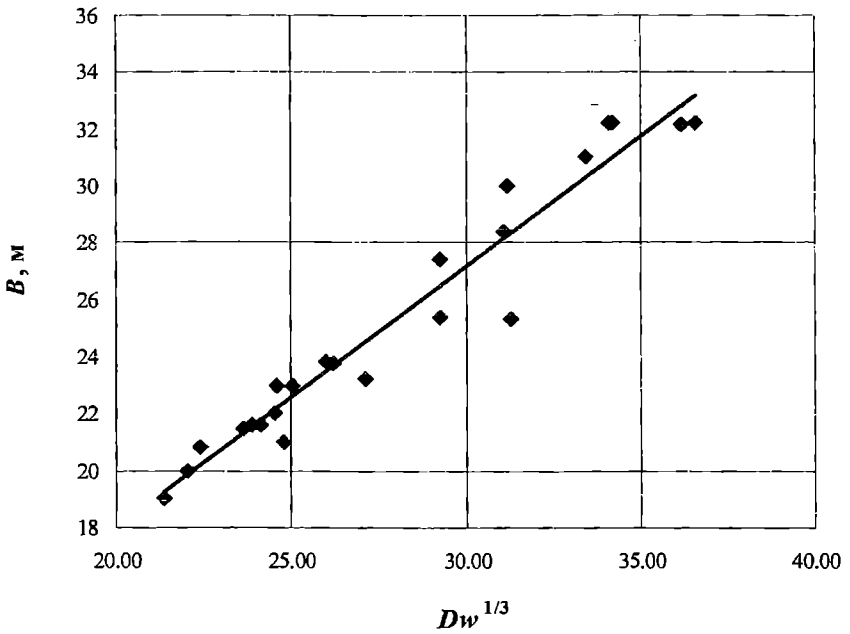


Рис. 7. Зависимость ширины судна от  $Dw^{1/3}$

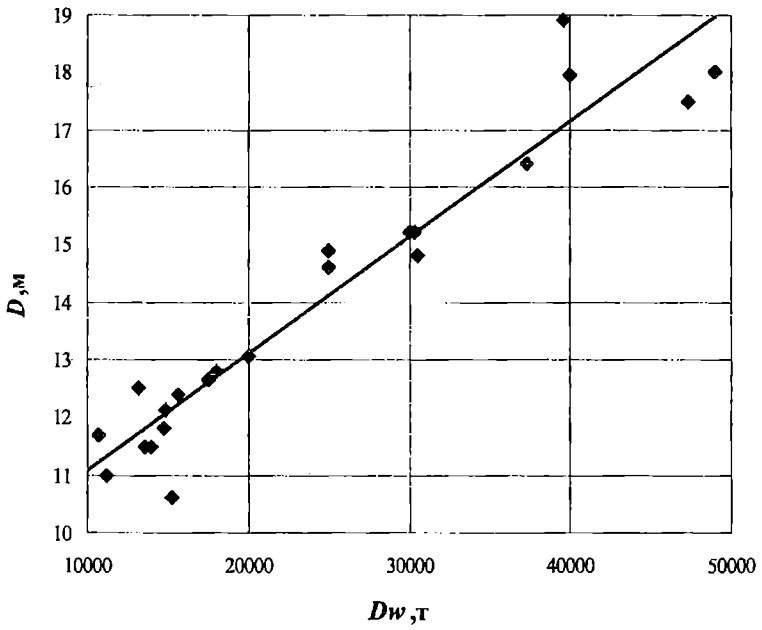


Рис. 8. Зависимость высоты борта судна от дедвейта

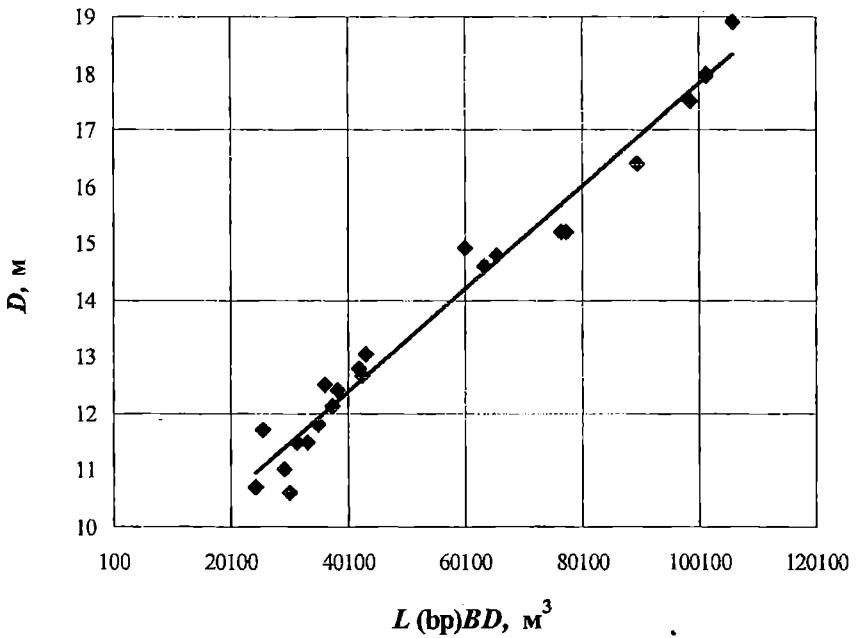


Рис. 9. Зависимость высоты борта судна от кубического модуля

Рекомендується висоту борта  $D$  определять как функцию кубического модуля.

Рассмотрены зависимости осадки  $d$  от дедвейта  $Dw$  и  $Dw^{1/3}$  (см. рис. 10 и рис. 11), которые представлены в виде

$$d = 7,1 + Dw \cdot 10^{-4}, \text{ м}, \quad (12)$$

$$d = 0,28Dw^{1/3} + 1,5, \text{ м}. \quad (13)$$

Более точный результат получается при определении осадки в функции от  $Dw^{1/3}$ .

Была проанализирована зависимость мощности главного двигателя  $Ne$  от дедвейта  $Dw$ , которая представлена на рис. 12, и зависимость коэффициента энерговооруженности  $\eta = \frac{Ne}{\Delta}$  от водоизмещения  $\Delta$  (см. рис. 13).

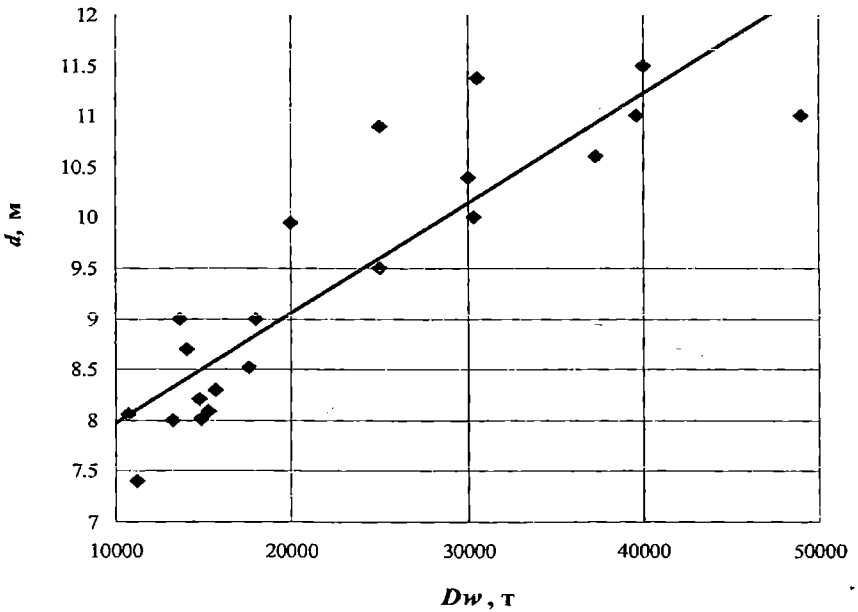


Рис. 10. Зависимость осадки судна от дедвейта

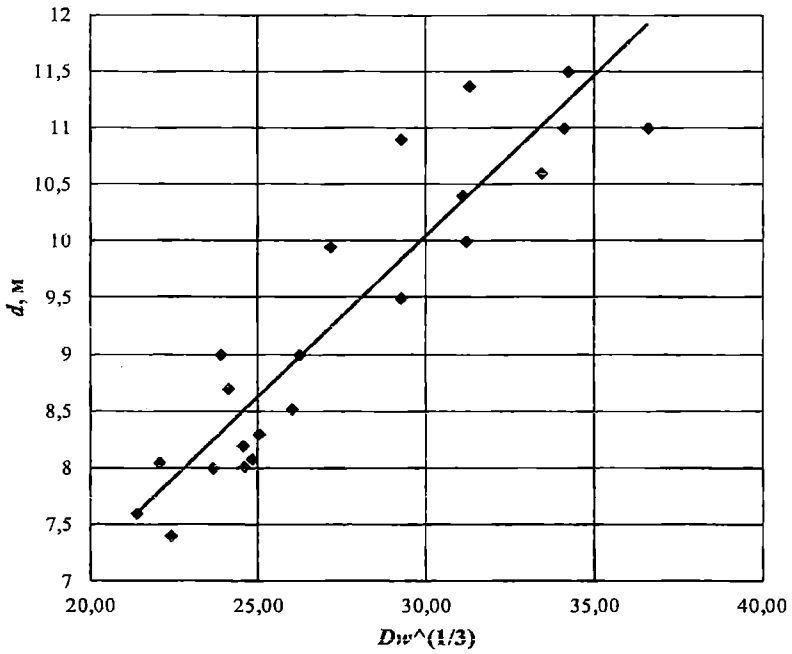


Рис. 11. Зависимость осадки судна от  $Dw^{1/3}$

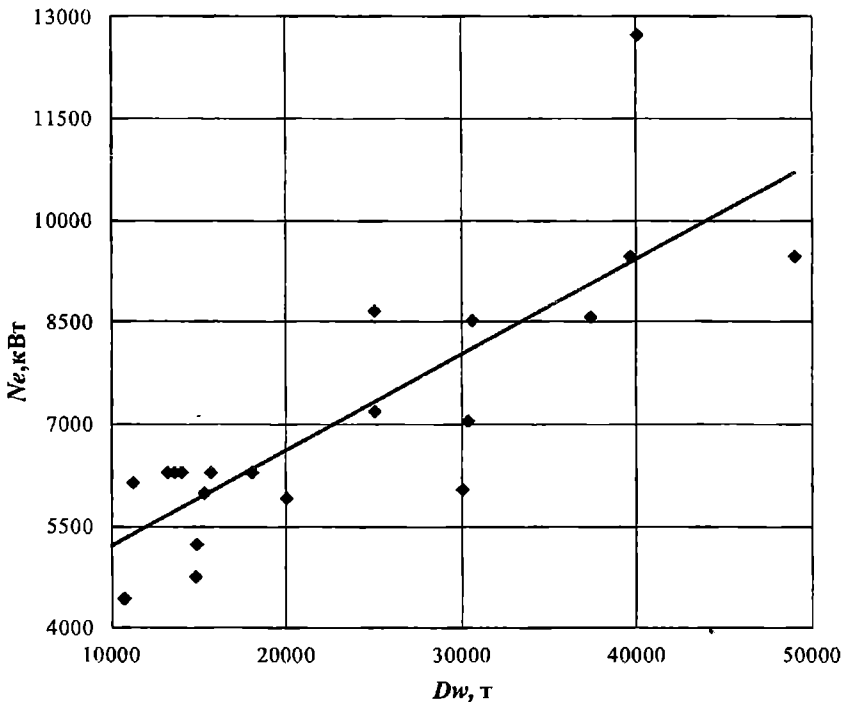


Рис. 12. Зависимость мощности главного двигателя судна от дедвейта

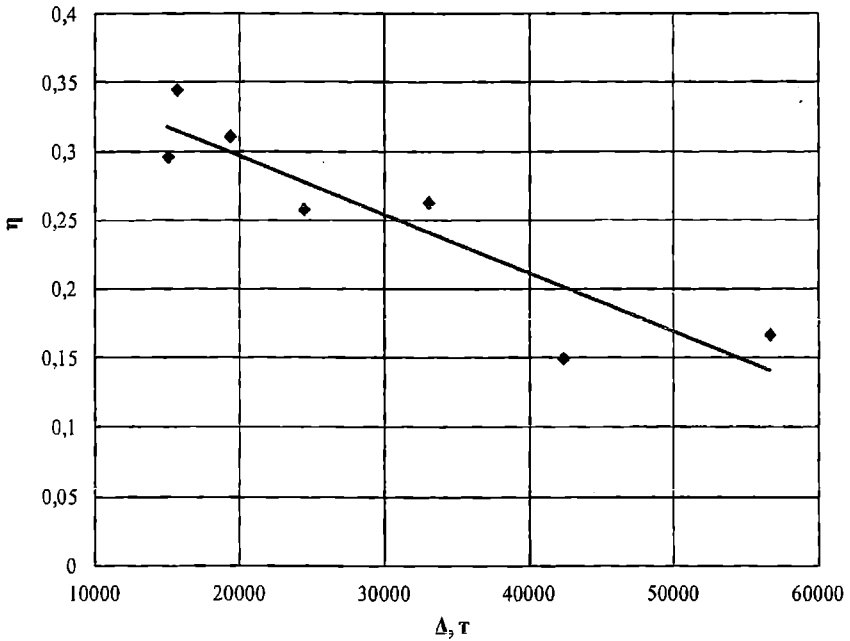


Рис. 13. Зависимость коэффициента энерговооруженности от водоизмещения

Полученные зависимости аппроксимируются выражениями

$$N_e = 3803 + 0,14Dw, \text{ кВт}, \quad (14)$$

$$\eta = 0,41 - 5 \cdot 10^{-6} \Delta. \quad (15)$$

Рекомендуется определять мощность двигателя  $N_e$  в зависимости от дедвейта  $Dw$ .

В результате выполненного анализа были получены графические и аналитические зависимости, которые позволяют определить грузовместимость, главные размерения и мощность энергетической установки в первом приближении при проектировании нефтехимовозов неограниченного района плавания дедвейтом более 10000 тонн.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemical in bulk.* – London: IMO, 2004.
2. Потравко А.С. Анализ основных характеристик современных малых морских нефтехимовозов // *Вісник ОНМУ.* – Одеса: ОНМУ, 2007. – Вип. 27. – С. 39-48.
3. *Significant ships of 2006.* – London: The Royal Institution of Naval Architects. – 2007. – 107 p.

4. *Каталог судов. ЦНИИМФ. Морской флот: Технико-экономические характеристики. – СПб.: Изд. ЦНИИМФ, 2002. – 246 с.*
5. *Ногид Л.М. Проектирование морских судов. Выбор показателей формы и определение мощности энергетической установки проектируемого судна. – Л.: Судостроение, 1976. – 208 с.*
6. *Барабанов Н.В. Конструкция корпуса морских судов. – Л.: Судостроение, 1969. – 695 с.*

*Стаття надійшла до редакції 15.06.2018*

**Рецензенти:**

кандидат технічних наук, провідний науковий співпрацівник к.т.н., провідний науковий співробітник відділу морехідних якостей Морського Інженерного Бюро **А.Є. Нільва**

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **Н.В. Єфремова**

УДК 621.44:629.425

## УЧЁТ ПРОЦЕССА ДРОССЕЛИРОВАНИЯ В ЦИКЛЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.А. Вассерман

д.т.н., профессор

кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация»

*Одесский национальный морской университет*

*Аннотация.* Рассматриваются два варианта теоретического цикла комбинированного двигателя, состоящего из дизеля и газотурбинной установки. В первом варианте имеет место изохорный отвод теплоты от газа, отработавшего в ДВС, и её изобарный подвод к газу перед турбиной. Во втором варианте эти два процесса заменены адиабатным дросселированием. В обоих случаях выражения для расчёта термического КПД цикла комбинированного двигателя одинаковы. При включении в состав установки газовой турбины термический КПД повышается на 14–18 % по сравнению с КПД дизеля.

**Ключевые слова:** цикл комбинированного двигателя, двигатель внутреннего сгорания, газотурбинная установка, термический КПД, наддув ДВС, процесс дросселирования.

## УРАХУВАННЯ ПРОЦЕСУ ДРОСЕЛЮВАННЯ В ЦИКЛІ КОМБІНОВАНОГО ДВИГУНА

О.А. Вассерман

д.т.н., професор

кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація»

*Одеський національний морський університет*

*Анотація.* Розглядаються два варіанти теоретичного циклу комбінованого двигуна, який складається з дизеля та газотурбінної установки. В першому варіанті має місце ізохорне відведення теплоти від газу, який відпрацював у ДВЗ, та її ізобарне підведення до газу перед турбіною. У другому варіанті ці два процеси замінені адіабатним дроселюванням. В обох випадках вирази для розрахунку термічного ККД циклу комбінованого двигуна однакові. При включенні у склад установки газової турбіни термічний ККД підвищується на 14-18 % у порівнянні з ККД дизеля.

**Ключові слова:** цикл комбінованого двигуна, двигун внутрішнього згорання, газотурбінна установка, термічний ККД, наддув ДВЗ, процес дроселювання.

UDC 621.44:629.425

## REGISTRATION PROCESS OF THROTTLING AT CYCLE OF COMBINED ENGINE

A.A. Vasserman

doctor of technical sciences, professor of the department  
«Ship power plants and technical operation»

*Odessa National Maritime University*

**Abstract.** *Two versions of theoretic cycle of combined engine which consist of diesel engine and gas turbine plant are considered. At first version take place isochoric drain of heat from gas, which worked in ICE, and its isobaric feed to gas before turbine. At second version these two processes are replaced by adiabatic throttling. At both cases the expressions for calculation the thermal coefficient of efficiency of combined engine cycle are identical. At inclusion in plant gas turbine the thermal coefficient of efficiency is higher on 14-18 % at comparison with that characteristic of diesel engine.*

**Keywords:** *cycle of combined engine, internal combustion engine, gas turbine plant, thermal coefficient of efficiency, supercharge of ICE, process of throttling.*

**Введение.** При рассмотрении цикла комбинированного двигателя, состоящего из дизеля и газотурбинной установки, не учитывалось, что процесс выпуска отработавших газов из ДВС в выпускной коллектор является процессом дросселирования. Этот необратимый процесс заменялся двумя обратимыми процессами отвода и подвода теплоты. Поэтому в настоящей работе анализируется такой цикл с включением реально протекающего процесса дросселирования.

**Целью статьи** является учёт процесса дросселирования при изображении цикла комбинированного двигателя на рабочей и тепловой диаграммах и проверка влияния этого процесса на расчёт термического КПД цикла.

**Изложение основного материала.** При построении теоретического цикла комбинированного двигателя на основании известных допущений заменяют разомкнутые рабочие процессы ДВС и ГТУ термодинамическими циклами (рис. 1). Они построены для весьма распространённой изобарной системы наддува, когда газы, отработавшие в цилиндрах ДВС, направляются в выпускной коллектор большого объёма, а оттуда практически при постоянном давлении – в газовую турбину. При этом ГТУ используется как для обеспечения наддува ДВС, так и для совершения дополнительной работы.



При выпуске в коллектор газы расширяются без теплообмена, но при этом не выполняют работу, то есть имеет место необратимое адиабатное дросселирование. Этот процесс обычно заменяют двумя обратимыми процессами: изохорным отводом теплоты от газа (5–I) после его расширения в цилиндрах ДВС и изобарным подводом того же количества теплоты к газу (I–III) перед его изэнтропным расширением в турбине [1; 2].

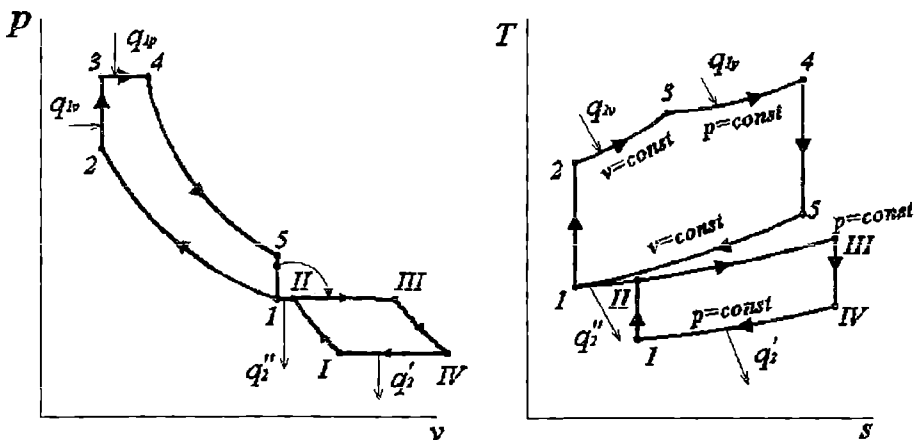


Рис. 1. Цикл комбинированного двигателя

Таким образом, рассматриваемый цикл состоит из циклов поршневого ДВС 1–2–3–4–5–1 и газотурбинной установки I–II–III–IV–I. Цикл ДВС включает изэнтропное сжатие 1–2, изохорный 2–3 и изобарный 3–4 подвод теплоты к рабочему телу, изэнтропное расширение 4–5 и изохорный отвод теплоты 5–1 от газа после его расширения. Цикл ГТУ включает изэнтропное сжатие воздуха I–II в компрессоре, изобарный процесс отвода теплоты II–I от этого воздуха в охладителе, изобарный процесс подвода теплоты I–III к газу перед турбиной, изэнтропное расширение газа III–IV в турбине и изобарный процесс отвода теплоты IV–I от газа в окружающую среду. Как отмечено выше, теплота отводится также в процессе II–I от сжатого компрессором воздуха перед его поступлением в ДВС.

Формула для расчёта термического КПД комбинированного двигателя получена в работе [2] и имеет вид

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \rho^k - 1 + k(\varepsilon_k^{k-1} - 1) \left( \frac{T_I}{T_1} - \frac{T_{IV}}{T_1} \right)}{\varepsilon_k^{k-1} [\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)]} \eta, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_k = v_I/v_{II}$  – степень сжатия воздуха в компрессоре.

Из выражения (1) при условии  $\epsilon_k = 1$  получается известная формула для термического КПД цикла ДВС со смешанным подводом теплоты. В цикле дизеля с газотурбинным наддувом ГТУ не совершает дополнительной работы, но  $\epsilon_k > 1$ . В этом случае выражение (1) также принимает вид формулы для КПД цикла ДВС, так как для цикла с наддувом изоэнтропы  $I-II$  и  $IV-III$  совпадают и  $T_I = T_{IV}$ . Поэтому вторая скобка в числителе выражения (1) превращается в нуль.

Представляет интерес изменение цикла комбинированного двигателя путём замены условных обратимых процессов изохорного отвода теплоты ( $5-I$ ) и изобарного подвода теплоты ( $1-III$ ) реальным процессом адиабатного дросселирования ( $5-III$ ). Цикл комбинированного двигателя после такой замены представлен на рис. 2.

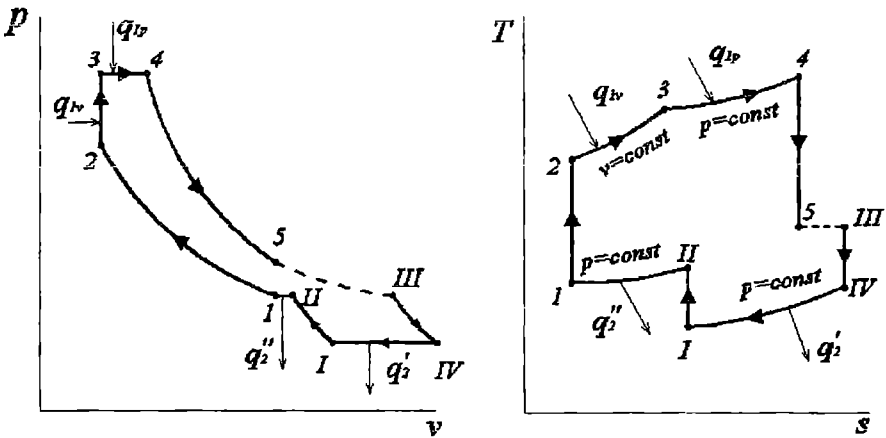


Рис. 2. Цикл комбинированного двигателя с процессом дросселирования 5-III

Как известно, процесс дросселирования протекает при постоянном значении энтальпии. У идеального газа энтальпия зависит только от температуры, поэтому процесс дросселирования  $5-III$  протекает при постоянной температуре. На рис. 2 процесс  $6-7$   $III-IV$  означает адиабатное расширение газа в турбине, а изобарный процесс отвода теплоты  $7-I$  соответствует выпуску газов, отработавших в турбине, в атмосферу.

При выводе выражения для КПД цикла, представленного на рис. 2, следует учесть, что для этого цикла количества подведенной и отведенной теплоты соответственно равны

$$q_1 = c_{v\infty}(T_3 - T_2) + c_{p0}(T_4 - T_3) = c_{v\infty} T_1 \epsilon^{k-1} [\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)], \quad (2)$$

$$q_2 = c_p(T_{IV} - T_I + T_{II} - T_I). \quad (3)$$

Уравнение (3) можно представить в виде

$$\begin{aligned} q_2 &= c_{p0}(T_{IV} - T_{III} + T_{II} - T_I + T_{III} - T_I) = \\ &= c_{vx}T_I(\lambda\rho^k - 1) + kc_{vx}[T_I(T_{II}/T_I - 1) + \\ &+ T_{IV}(1 - T_{III}/T_{IV})] = c_{vx}T_I(\lambda\rho^k - 1) + kc_{vx}(\varepsilon_k^{k-1} - 1)(T_I - T_{IV}), \end{aligned} \quad (4)$$

При этом преобразовании учитывалось, что значения температуры газов, отработавших в ДВС  $T_5$  и поступающих в турбину  $T_{III}$ , одинаковы

$$c_{p0}(T_{III} - T_I) = kc_{vx}(T_5 - T_I) = kc_{vx}T_I(\lambda\rho^k - 1). \quad (5)$$

Подставив выражения (2) і (4) в формулу для расчёта КПД

$$= 1 - q_2/q_1 \quad (6)$$

и разделив числитель и знаменатель на  $c_{v00}T_I$ , получим формулу (1) для расчёта термического КПД комбинированного двигателя. Таким образом, учёт процесса дросселирования в цикле комбинированного двигателя не влияет на значение термического КПД.

Отмеченное обстоятельство свидетельствует о том, что замена необратимого процесса дросселирования при выводе выражения (1) для КПД двумя обратимыми процессами (изохорным отводом и изобарным подводом теплоты) является вполне корректной процедурой.

Необходимо подчеркнуть, что термический КПД цикла комбинированного двигателя существенно выше КПД обычного ДВС. Так, расчеты показали [3], что для цикла ДВС при степени повышения давления  $\lambda = 1,4$ , степени предварительного расширения  $\rho = 1,2$  и начальных параметрах воздуха  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ ,  $p_1 = 0,101325$  МПа при изменении степени сжатия  $\varepsilon$  от 12 до 18 термический КПД изменяется от 60,9 % до 66,7 %. При включении в состав установки газовой турбины, использующей энергию отработавших газов ДВС, термический КПД установки составляет 72,1 % при  $\varepsilon = 12$  и 76,2 % при  $\varepsilon = 18$ , то есть возрастает на 18 % и 14 % соответственно.

**Выводы.** Анализ цикла комбинированного двигателя с учётом реального процесса дросселирования при выпуске отработавших газов из ДВС показал, что этот учёт не влияет на расчёт термического КПД цикла. Поэтому замена указанного необратимого процесса при выводе выражения для КПД двумя обратимыми процессами изохорного отвода и изобарного подвода теплоты вполне допустима.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фомин Ю.Я., Горбань А.И. и др. Судовые двигатели внутреннего сгорания. – Л., 1989. – 344 с.
2. Вассерман О.А., Слынько О.Г. Термодинамічні процеси та цикли в ідеальному газі. – Одеса: Фенікс, 2013. – 164 с.
3. Повышение эффективности и мощности двигателей внутреннего сгорания. 2. Цикл с охлаждением воздуха, подаваемого в цилиндры двигателя / А.А. Вассерман, А.Г. Слынько / Технические газы. – 2018. – № 4. – С. 34-38.

Стаття надійшла до редакції 26.11.2018

### Рецензенти:

доктор технічних наук, завідувач кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **Р.А. Варбанець**

кандидат технічних наук, завідувач кафедри «Суднова теплоенергетика» Національного університету «Одеська морська академія» **О.В. Кіріс**

УДК 656.615: 656.628

**ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ  
З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

**І.О. Лапкіна**

д.е.н., професор, завідувач кафедри  
«Управління логістичними системами та проектами»  
*lapkina@ukr.net*

**М.О. Малаксіано**

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри  
«Управління логістичними системами та проектами»  
*malax@ukr.net*

*Одеський національний морський університет*

**Є.С. Савченко**

експерт з управління логістичними системами,  
*y.savchenko@protein-service.eu*

*Компанія Project tender information service, GmbH, Гамбург*

**Анотація.** Розглядається задача обґрунтування оптимального варіанта модернізації Ro-Ro терміналу порту Емден з урахуванням тенденцій зміни структури та інтенсивності вантажо потоку, особливостей організації вантажних робіт та специфіки навігаційних умов. Для вирішення поставленої задачі побудовано імітаційну модель. При розробці даної моделі були створені алгоритми оперативного управління рухом суден в гирлі річки Емс, що враховують динаміку приливів і відливів, а також реалізовані алгоритми оперативного розподілу ресурсів буксирного флоту та стивідорних бригад. Завдяки такому підходу вдалося прогнозувати з високою точністю як показники ефективності, так і показники стійкості функціонування терміналу при різних варіантах його модернізації.

**Ключові слова:** Ro-Ro термінал, імітаційне моделювання, оптимізація транспортної інфраструктури, інтелектуальні транспортні системи.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**И.А. Лапкина**

д.э.н., профессор, заведующая кафедрой  
«Управление логистическими системами и проектами»

**Н.А. Малаксиано**

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры  
«Управление логистическими системами и проектами»

*Одесский национальный морской университет*

**Е.С. Савченко**

эксперт по управлению логистическими системами  
*Компания Project tender information service, GmbH, Гамбург*

*Аннотация. Исследуется задача обоснования оптимального варианта модернизации Ro-Ro терминала порта Эмден с учетом тенденций изменения структуры и интенсивности грузопотока, особенностей организации погрузо-разгрузочных работ и специфики навигационных условий. Для решения поставленной задачи построена имитационная модель. При разработке данной модели были созданы алгоритмы оперативного управления движением судов в устье реки Эмс, учитывающие динамику приливов и отливов, а также реализованы алгоритмы оперативного распределения ресурсов буксирного флота и стивидорных бригад. Благодаря такому подходу удалось прогнозировать с высокой точностью как показатели эффективности, так и показатели устойчивости функционирования терминала при различных вариантах его модернизации.*

*Ключевые слова: Ro-Ro терминал, имитационное моделирование, оптимизация транспортной инфраструктуры, интеллектуальные транспортные системы.*

**UDK 656.615: 656.628**

**DESIGN AND OPTIMIZATION OF TRANSPORT SYSTEMS  
BY MEANS OF SIMULATION MODELING**

**I.O. Lapkina**

Doctor of economic sciences, professor  
head of Department of «Management of logistics systems and projects»  
*lapkina@ukr.net*

**M.O. Malaksiano**

PhD, associate professor  
Department of «Management of logistics systems and projects»  
*malax@ukr.net*

*Odessa National Maritime University*

**Y.S. Savchenko**

logistics systems expert  
*y.savchenko@protein-service.eu*

*Project tender information service, GmbH, Hamburg*

***Abstract.** The purpose of the research assignment is to substantiate the optimal variant of modernization for the Port Emden Ro-Ro terminal, taking into account the trends in the intensity and structure of the cargo flow, specifics of cargo handling operations and navigation conditions. To solve the problem, a computer simulation model was designed. In the development of this model, the algorithms for optimal vessel traffic control at the mouth of the River Ems were implemented. When creating the model, the dynamics of tides, rules for operational distribution of the towboat fleet and stevedoring teams, as well as other specific technological features were taken into account. Such approach allowed a very accurate prediction of the performance indicators and indicators of sustainability for various options of terminal modernization.*

***Keywords:** Ro-Ro terminal, simulation, transport infrastructure optimization, intelligent transport systems.*

**Вступ.** Підвищення ефективності функціонування транспортних систем має велике значення для багатьох підприємств і регіонів. Тому, як на рівні стратегій розвитку окремих держав, так і на рівні міжнародних організацій наголошується на необхідність розвитку інноваційних технологій в сфері транспорту, в тому числі, створення умов для планування і проведення наукових досліджень з метою розвитку і впровадження інноваційних технологій та інтелектуальних транспортних систем [1; 2]. Розвиток і впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС) (Intelligent transportation system) передбачає інтеграцію сучасних інформаційних і комунікаційних технологій та засобів автоматизації з транспортною інфраструктурою, транспортними засобами і користувачами, та спрямовано на підвищення безпеки та ефективності транспортного процесу [2]. Впровадження інноваційних методів планування і управління дозволяє в ряді випадків істотно покращити показники роботи транспортних систем за рахунок підвищення координації вантажопотоків і оптимізації використання наявних ресурсів.

Для обґрунтування стратегічних планів довгострокового розвитку багатьох складних транспортних систем високу ефективність показують методи імітаційного моделювання.

Дослідженню шляхів підвищення ефективності функціонування сучасних високотехнологічних транспортних систем останнім часом приділяється все більше уваги в наукових виданнях. Так, питання стійкого функціонування транспортних систем в умовах нерівномірного вантажопотоку були досліджені в роботах [3; 4]. Також в [3] було обґрунтовано вибір оптимальної структури парку обладнання з використанням методів імітаційного моделювання.

В [5] проводиться огляд і пропонується класифікація сучасних методів і результатів наукових досліджень інтермодальних транспортних систем, а також аналізуються тенденції і перспективи розвитку в цьому напрямку. Питання визначення оптимальних термінів ремонтів перевантажувального обладнання з використанням методів теорії випадкових

процесів були вивчені в роботах [6; 7]. В [8-10] досліджуються різні підходи до проектування і організації роботи інтелектуальних транспортних систем. Питання визначення оптимальних термінів служби устаткування транспортних систем в умовах невизначеності з урахуванням можливостей його реставрації досліджені в [11-14]. В роботі [15] використані багатокритеріальні оцінки для зменшення ризиків при плануванні ремонтів і замін складного перевантажувального обладнання, яке функціонує в умовах неповністю передбачуваного вантажопотоку.

Одним з найбільш перспективних та затребуваних на практиці напрямків наукових досліджень в сфері проектування та оптимізації сучасних складних транспортних систем є дослідження, що базуються на застосуванні методів та алгоритмів імітаційного моделювання.

**Мета статті.** Метою даної роботи є дослідження проблеми оцінки показників ефективності і стійкості роботи Ro-Ro терміналу порту Емден при визначенні оптимального варіанту його модернізації з урахуванням тенденцій зміни структури та інтенсивності вантажопотоку, особливостей організації вантажних робіт і специфіки умов навігації. Для вирішення даної проблеми пропонується використовувати методи імітаційного моделювання.

**Викладення основного матеріалу.** Ro-Ro термінал порту Емден є великим транспортним вузлом, через який щодоби перевантажується більше ніж 5 тис. автомобілів. До складу терміналу входить чотири глибоководні причали, дві станції навантаження потягів і більше ніж 1,5 млн. м<sup>2</sup> складських площ. Порт Емден знаходиться в гирлі річки Емс (рис. 1, 2).

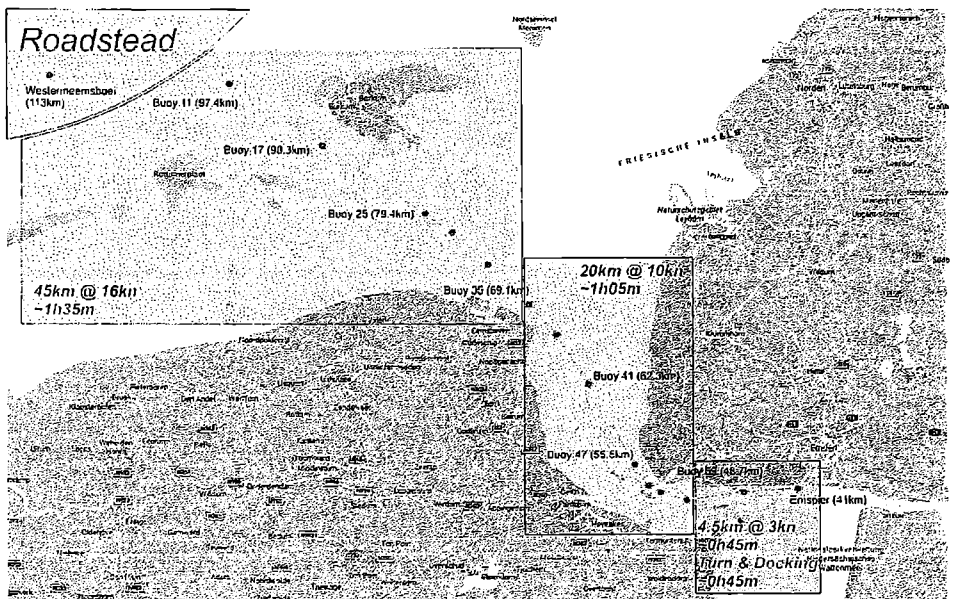


Рис. 1. Схема руху суден до Ro-Ro терміналу порту Емден [16]

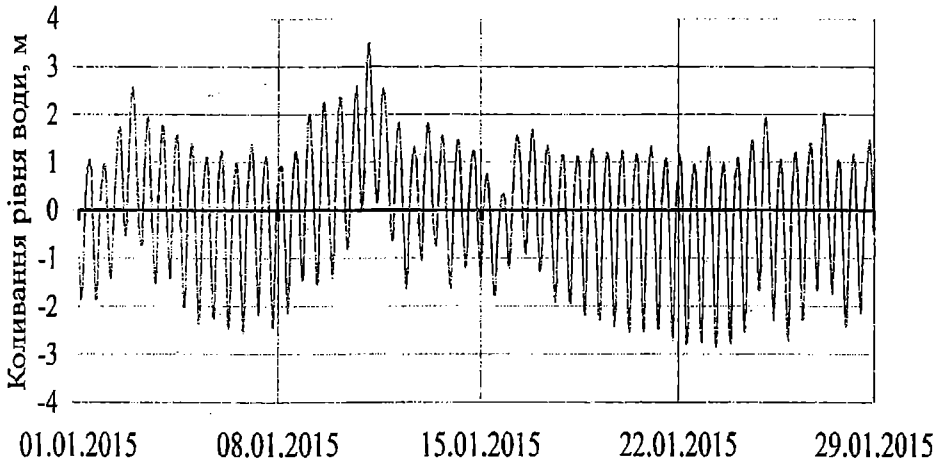




*Рис. 2. Глибоководні причали Ro-Ro терміналу порту Емден [17]*

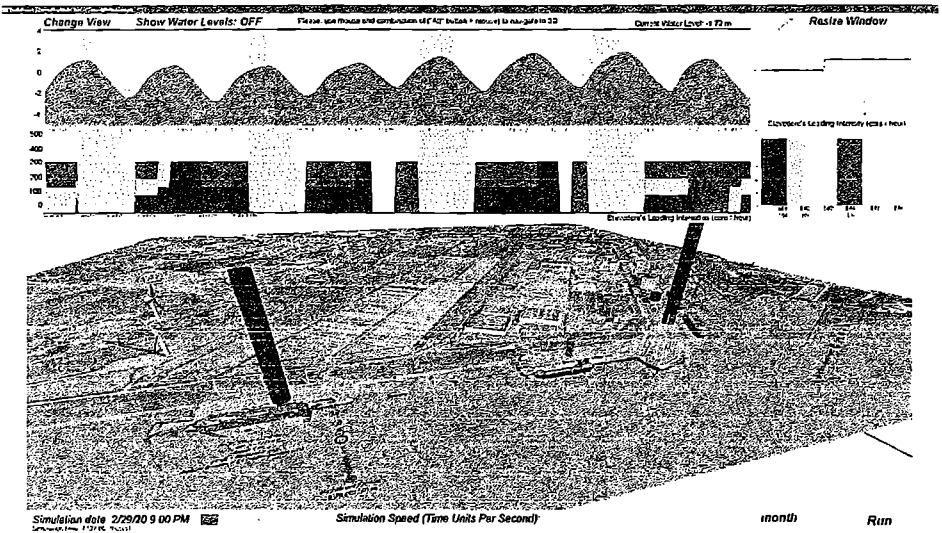
Внаслідок відливів рух суден з великим осіданням по річці Емс обмежений протягом значної частини доби. При оцінці роботи терміналу необхідно враховувати тенденції зміни вантажопотоків, що проходять через термінал, і пов'язані з цим зміни графіків руху суден, що здійснюють як лінійні, так і трампові перевезення, а також враховувати специфіку організації стивідорних робіт та ряд інших чинників. Рух суден від місця якірної стоянки до причалів терміналу в середньому займає близько 3,5 годин (рис. 1). Глибина по фарватеру варіюється від 14,23 до 10,5 м. При цьому амплітуда коливань рівня води, що пов'язані з приливами і відливами, протягом доби може перевищувати 4 м, а в перебігу тижня – 6 м (рис. 3). Тому під час відливів рух суден з великим осіданням в гирлі річки Емс обмежений. Це істотно впливає як на пропускну спроможність терміналу, так і на показники часу стоянки суден. Крім того, це ускладнює прогнозування значень показників ефективності та стійкості функціонування терміналу в умовах збільшення інтенсивності і нерівномірності вантажопотоків, а також при збільшенні осідання суден, що заходять до терміналу.

З огляду на тенденції зміни структури та інтенсивності вантажопотоку, а також зважаючи на збільшення місткості та осідання оброблюваних суден, адміністрація терміналу розглядала декілька альтернативних варіантів модернізації інфраструктури терміналу. При обґрунтуванні вибору оптимального варіанту модернізації терміналу виникла необхідність оцінки показників ефективності та стійкості функціонування терміналу при кожному з варіантів модернізації, які розглядалися, та для різних можливих сценаріїв змін структури і інтенсивності вантажопотоку.



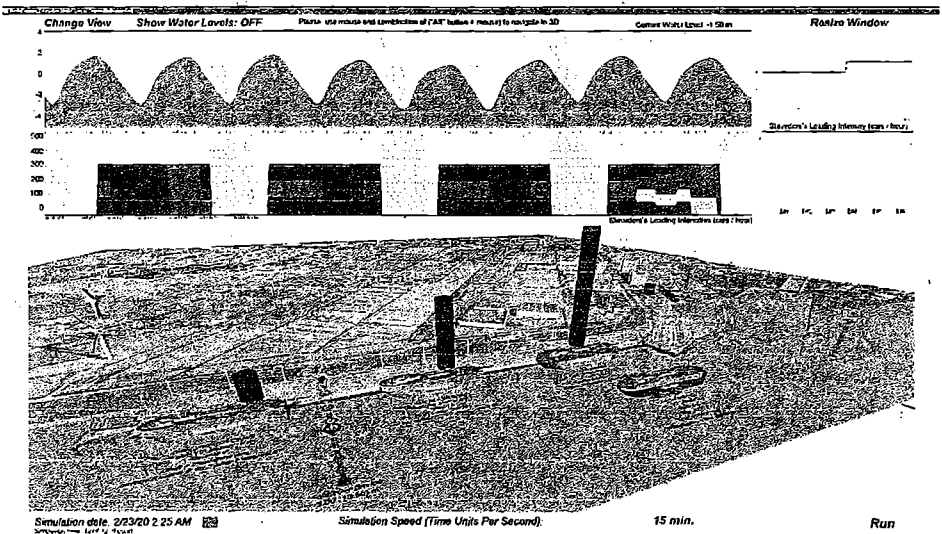
*Рис. 3. Фрагмент графіка змін рівня води  
біля Ro-Ro терміналу порту Емден*

Як можливий варіант модернізації терміналу розглядалося будівництво додаткового глибоководного причалу, різні варіанти проведення комплексу днопоглиблювальних робіт, збільшення інтенсивності стивідорних робіт, а також різні комбінації цих заходів. Оскільки класичні аналітичні методи теорії масового обслуговування і методи оптимального управління не дозволяють досліджувати поставлену задачу в повному обсязі, були застосовані методи імітаційного моделювання. Нами була створена імітаційна модель Ro-Ro терміналу порту Емден. Ця модель реалізована у вигляді окремого прикладного програмного забезпечення з графічним інтерфейсом, засобами вводу, верифікації та виводу даних, а також тривимірною анімацією. Відразу після запуску програма зчитує вхідні параметри моделі з відповідним чином структурованого файлу. У цьому файлі міститься вся інформація щодо параметрів модернізації терміналу, сценарію змінення вантажопотоку, графіків суднозаходів, кількості і потужності буксирів, інтенсивності та розкладу роботи стивідорних бригад та загальних параметрів роботи імітаційної моделі. Запропонована імітаційна модель здатна працювати як в режимі одиночного прогону з відображенням 3D анімації, так і в режимі високошвидкісних багаторазових прогонів без візуалізації. При роботі в режимі 3D презентації модель відображає анімацію, яка дозволяє в реальному часі спостерігати за процесами, що відбуваються на терміналі. На рис. 4, 5 представлені вікна імітаційної моделі, яка працює в режимі одиночного прогону з відображенням 3D презентації для базового і одного з проектних варіантів модернізації терміналу.



*Рис. 4. Вікно імітаційної моделі під час прогону в режимі 3D презентації – базовий варіант*

У верхній частині вікна моделі наведено графік зміни рівня води та діаграму розподілу стивідорних бригад між причалами. Циліндричні стовпчики синього і червоного кольору, які розташовані над причалами у вікні 3D презентації, відображають стан процесу обробки суден. Індикатори, що зображені над буями вздовж фарватеру, показують зміни поточних рівнів води в різних частинах маршруту руху суден з похибкою  $\pm 0,01$  м.



*Рис. 5. Вікно імітаційної моделі під час прогону в режимі 3D презентації – проектний варіант з додатковим причалом*

При створенні імітаційної моделі були розроблені алгоритми, що моделюють роботу диспетчерських служб терміналу. Ці алгоритми дозволили ефективно регулювати рух суден по річці Емс з урахуванням змін рівня води на кожній ділянці фарватеру, а також керувати роботою буксирного флоту. Велику увагу в даній моделі було приділено тому, щоб максимально точно відтворити графіки суднозаходів, врахувати характеристики і показники завантаження суден, а також врахувати сезонні зміни вантажопотоків і впливи випадкових факторів. Була реалізована можливість моделювання як руху суден, що здійснюють рейси відповідно до фіксованих графіків, так і руху трампових суден. Передбачено механізм пріоритетів вибору причалів і черговості обслуговування суден.

Модель дозволяє налаштовувати генератори випадкових чисел таким чином, щоб всі випадкові процеси, які відбуваються на терміналі, відтворювалися ідентично від прогону до прогону. Завдяки цьому можна спостерігати, наскільки успішно система здатна долати ті ж самі кризові ситуації при різних варіантах модернізації терміналу. Також можна налаштувати генератори випадкових чисел так, щоб при кожному прогоні створювалася унікальна послідовність випадкових подій. Цей режим дозволяє дослідити стійкість показників ефективності роботи терміналу з огляду на можливі випадкові коливання зовнішніх факторів. Алгоритми імітаційної моделі оптимізовані так, що прогін одного сценарію протягом одного року модельного часу з виключеною анімацією займає менше однієї секунди роботи сучасного персонального комп'ютера. Це дає можливість проводити серії з великою кількістю випробувань і на їх основі робити статистично обґрунтовані висновки або застосовувати різні чисельні алгоритми для спрямованого пошуку оптимальних параметрів модернізації терміналу.

Важливим аспектом при створенні даної імітаційної моделі був вибір структури вхідних даних та організація вводу і виводу даних. З одного боку, обрана структура вхідних даних дозволила досить точно відтворювати задані графіки суднозаходів так, щоб була можливість перевірки адекватності роботи моделі на фактичних даних минулих років, а також можна було досліджувати роботу терміналу в найближчій коротко-строковій перспективі. З іншого боку, запропонована структура вхідних даних дала можливість зручно описувати сценарії вантажопотоків, які можливі у віддаленому майбутньому і для яких немає точних графіків руху суден, а є лише загальний опис тенденцій.

Для того, щоб зробити введення даних зручним і інтуїтивно зрозумілим для користувача, були використані різні візуальні засоби. Разом з тим була реалізована дворівнева перевірка інформації, що вводиться. Перший рівень перевірки був реалізований ще на етапі редагування файлу вхідних даних. На цьому рівні забезпечено виявлення більшості явних помилок вводу, що лежать на поверхні.

Другий рівень перевірки вхідних даних здійснюється імітаційною моделлю безпосередньо перед стартом прогону. На другому рівні проводиться серія більш складних перевірок і тестових розрахунків, які спрямовані на виявлення глибинних невідповідностей і логічних протиріч.

Після закінчення прогону модель генерує файл, в який записуються як загальні статистичні показники функціонування терміналу протягом заданого відрізка часу, так і детальний протокол з щосекундною фіксацією всіх подій, які сталися на терміналі під час прогону моделі. Аналізуючи цей файл, можна відстежити виникнення кризових подій, спостерігати появу черг і аналізувати обставини, що їх зумовили. Також можна оцінювати те, наскільки швидко система здатна долати кризові ситуації і яких ресурсів при цьому бракує.

На підставі аналізу статистичних даних, отриманих в результаті багаторазових прогонів імітаційної моделі, були встановлені як оцінки середніх значень показників ефективності функціонування терміналу в різних ситуаціях, так і оцінки стійкості цих показників до можливих коливань вантажопотоку і випадкових відхилень в графіках руху суден. Були визначені вузькі місця даної транспортної системи. Для різних сценаріїв зміни вантажопотоків і різних варіантів модернізації терміналу були отримані оцінки середнього часу простою суден на рейді, значення коефіцієнтів зайнятості причалів та інших ресурсів, а також побудовані відповідні функції щільності розподілів. Для значень різних показників функціонування терміналу були визначені довірчі інтервали.

**Висновки.** Головні задачі, що стояли перед даним дослідженням, насамперед стосувалися оцінки та обґрунтування стратегічних планів довгострокового розвитку терміналу. Однак рішення цих задач виявилось неможливим без урахування та глибокого аналізу специфіки ряду процесів, управління якими має здійснюватися на операційному рівні. Основні складнощі, що виникли при створенні даної імітаційної моделі, стосувалися саме розробки та реалізації алгоритмів оптимального управління процесами, які відбуваються на операційному рівні. Отже, при розробці цієї моделі були створені алгоритми оперативного управління рухом суден в гирлі річки Емс з урахуванням динаміки припливів і відливів, реалізовані алгоритми оперативного розподілу ресурсів буксирного флоту і стивідорних бригад, та ін. Завдяки тому, що в запропонованій імітаційної моделі були реалізовані алгоритми, здатні на оперативному рівні адекватно виконувати функції диспетчерських служб, результати моделювання дозволили з високою точністю прогнозувати показники ефективності функціонування терміналу для різних варіантів його стратегічного розвитку.

При моделюванні транспортних систем велике значення має адекватність моделювання графіків руху транспортних засобів, точний опис всіх технологічних операцій, пов'язаних з обслуговуванням транспортних засобів і обробкою вантажів, врахування можливих впливів випадкових факторів. Однак, не менш важливим, і в ряді випадків набагато складнішим аспектом створення адекватних імітаційних моделей сучасних транспортних систем, є моделювання роботи диспетчерських служб у рамках інтелектуальних транспортних систем. Диспетчерські служби займаються оптимізацією руху транспортних засобів, координують різні процеси, що паралельно протікають, а також здійснюють оперативний перерозподіл наявних виробничих ресурсів. Від ефективності роботи цих служб істотно залежить продуктивність і стійкість роботи більшості транспортних систем. Тому моделювання роботи диспетчерських служб в складі ІТС є важливою й, як правило, найбільш складною частиною досліджень, які спрямовані на проектування сучасних транспортних систем та прогнозування значень їх показників ефективності. Зазвичай моделювання роботи диспетчерських служб вимагає розробки складних алгоритмів та індивідуальний підхід для кожної окремої ситуації. Але, незважаючи на складність проектування і створення імітаційних моделей, а також трудомісткість збору і аналізу вхідних і вихідних даних, доцільність використання такого підходу в багатьох випадках обумовлена його високою точністю і можливістю ефективного використання при дослідженні сучасних складних транспортних систем.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Intelligent Transport Systems – Concept Note. United Nations. Inland Transport Committee. 78-th session / Geneva, 23-26 February 2016 // <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/itc/ECE-TRANS-2016-10e.pdf>*
2. *Об основных направлениях и этапах реализации скоординированной транспортной политики государств-членов Евразийского экономического союза / Решение Высшего евразийского экономического совета от 26 декабря 2016 г. № 19 // [https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01112853/cncd\\_13012017\\_133\\_att.zip](https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01112853/cncd_13012017_133_att.zip)*
3. *Lapkina I.O. Optimization of the structure of sea port equipment fleet under unbalanced load / I.O. Lapkina, M.O. Malaksiano, M.O. Malaksiano // Actual Problems of Economics. – 2016. – Vol. 9. – Issue 183. – P. 364-371.*
4. *Lapkina I.O. Modelling and optimization of perishable cargo delivery system through Odesa port / I.O. Lapkina, M.O. Malaksiano // Actual Problems of Economics. – 2016. – Vol. 3. – Issue 177. – P. 353-365.*

5. Crainic T.G. *Simulation of intermodal freight transportation systems: a taxonomy* // T.G. Crainic, G. Perboli, M. Rosano / *European Journal of Operational Research*. – 2018. – Vol. 270. – Issue 2. – P. 401-418.
6. Малаксиано Н.А. *Об оптимальных сроках ремонтов сложного портового оборудования* / Н.А. Малаксиано // *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Економіка*. – 2012. – № 6. – Вип. 3. – С. 186-195.
7. Malaksiano M.O. *On the optimal repairs and retirement terms planning for complex port equipment when forecast level of employment is uncertain* / M.O. Malaksiano // *Economic cybernetics*. – 2012. – № 4-6 (76-78). – P. 49-56.
8. Bézuvin J. *Model Driven Engineering: An Emerging Technical Space. In Generative and Transformational Techniques in Software Engineering; Lecture Notes in Computer Science* / R. Lämmel, J. Saraiva, J. Visser, Eds. – Heidelberg: Springer, 2006. – Vol. 4143. – P. 36-64.
9. Müller J.P. *Modeling Reactive Behaviour in Vertically Layered Agent Architectures. In Intelligent Agents; Lecture Notes in Computer Science* / J.P. Müller, M. Pischel; M. Thiel / Wooldridge, M.J., Jennings, N.R., Eds. – Heidelberg: Springer, 1995. – Vol. 890. – P. 261-276.
10. Faouzi N.-E.E. *Data fusion in intelligent transportation systems: Progress and challenges-A survey* / N.-E.E. Faouzi, H. Leung, A. Kurian // *Inf. Fusion*. – 2011. – № 12. – P. 4-10.
11. Malaksiano N.A. *On the stability of economic indicators of complex port equipment usage* / N.A. Malaksiano // *Actual Problems of Economics*. – 2012. – Vol. 12. – Issue 138. – P. 226-233.
12. Lapkina I. *Estimation of fluctuations in the performance indicators of equipment that operates under conditions of unstable loading* / I. Lapkina, M. Malaksiano // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. Vol. 1. – Issue 3(91). – P. 22-29.
13. Lapkina I. *Elaboration of the equipment replacement terms taking into account wear and tear and obsolescence* / I. Lapkina, M. Malaksiano // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol. 3. – Issue 3 (93). – P. 30-39.
14. Лапкина И.А. *О повышении устойчивости показателей эффективности при планировании сроков обновления сложного оборудования* / И.А. Лапкина, Н.А. Малаксиано // *Вісник ОНМУ: 36. наук. праць*. – Одеса: ОНМУ, 2018. – № 1. – Вип. 54. – С. 207-217.

15. Малаксиано Н.А. Использование многокритериальных оценок для уменьшения рисков при планировании ремонтов и замен сложного портового оборудования, функционирующего в условиях неполнотью определенного грузопотока / Н.А. Малаксиано // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. ОНМУ. – 2013. – № 1 (20). – С. 7-27.
16. Google Maps // <https://www.google.com/maps/@53.3932007,6.754134,11z?hl=en&authuser=0>
17. Port of Emden // <http://www.seaports.de/virthos.php?en//HOME/HAFENSTANDORTE/Emden>

Стаття надійшла до редакції 08.11.2018

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, проректор з навчально-організаційної роботи Одеського національного морського університету  
**А.В. Шахов**

кандидат технічних наук, доцент, ректор Інституту морегосподарства і підприємництва **О.В. Яценко**



УДК 656.022.826

**МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ  
ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ФІДЕРНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ  
КОНТЕЙНЕРОПОТОКІВ І ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

**О.Л. Дрожжин**

ст. викладач кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»

**О.Г. Шибаєв**

д.т.н., професор кафедри «Експлуатація флоту  
і технологія морських перевезень»

**С.П. Онищенко**

д.е.н., професор кафедри «Експлуатація флоту  
і технологія морських перевезень»

*Одеський національний морський університет*

***Анотація.** В статті подається в якості системи сукупність фідерних ліній, що задіяні в міжнародних контейнерних перевезеннях на регіональному рівні, а глобальні, магістральні напрямки перевезень – в якості зовнішнього середовища. В роботі розглянута їх взаємодія, яка відбувається на рівнях: «контейнеропотоки», «порти», «флот».*

***Ключові слова:** організація роботи суден, лінійне судноплавство, судно-контейнеровоз, фідер, контейнер.*

**МОДЕЛЬ ВЗАИМОСВЯЗИ  
ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ФИДЕРНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
КОНТЕЙНЕРОПОТОКОВ И ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ**

**А.Л. Дрожжин**

ст. преподаватель кафедры «Эксплуатация флота  
и технология морских перевозок»

**А.Г. Шибаев**

д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатация флота  
и технология морских перевозок»

**С.П. Онищенко**

д.э.н., профессор кафедры «Эксплуатация флота  
и технология морских перевозок»

*Одесский национальный морской университет*

***Аннотация.** В статье приводится в качестве системы совокупность фидерных линий, задействованных в международных контейнерных перевозках на региональном уровне, а глобальные, магистральные направления перевозок – в качестве внешней среды. В работе рассмотрено их взаимодействие, которое происходит на уровнях «контейнеропотоки», «порты», «флот».*

***Ключевые слова:** организация работы судов, линейное судоходство, судно-контейнеровоз, фидер, контейнер.*

---

© Дрожжин О.Л., Шибаев О.Г., Онищенко С.П., 2018

UDC 656.022.826

## PARAMETER INTERACTION MODEL OF THE FEEDER CONTAINER FLOWS SYSTEM AND EXTERNAL ENVIRONMENT

**O.L. Drozhzhyn**

Senior Lecturer of the Department of «Fleet operation and sea transportation technologies»

**O.G. Shybaev**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Fleet operation and sea transportation technologies»

**S.P. Onyshchenko**

Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of «Fleet operation and sea transportation technologies»

*Odessa National Maritime University*

**Abstract.** *The paper presents as a system the aggregate of feeder lines, involved in international container trade at the regional level, and global, trunk lines directions – as an external environment. The paper considers their interaction, which occurs at the level of the «container flows», «ports», «fleet».*

**Keywords:** *organization of fleet operation, liner shipping, container vessel, feeder, container.*

**Вступ.** Вхідження на новий ринок потребує від організатора фідерної контейнерної лінії ретельного аналізу бізнес-середовища. Такий аналіз в наслідок специфіки магістрально-фідерних зв'язків має відбуватися як на рівні самої системи (фідерних регіонів), так і поза її межами (глобальні контейнерні ринки).

Під зовнішнім макросередовищем в даній статті розуміється сукупність факторів демографічного, політичного, правового, економічного, природного чи культурного походження, що однобічно впливає на систему.

Зовнішнє мікросередовище – це елементи зовнішнього середовища, що безпосередньо впливають на діяльність системи – фідерний регіон. В свою чергу, елементи системи теж можуть впливати на елементи зовнішнього середовища в процесі функціонування. До таких елементів глобального ринку відносяться компанії-магістральні перевізники і вантажовласники (відправники, отримувачі, чи організації які виступають від їх імені чи в їх інтересах), порти які належать магістральним лініям.

Межею мікросередовища і системою є порти-хаби, які пов'язані як з фідерним регіоном, так і з зовнішнім середовищем (рис. 1).

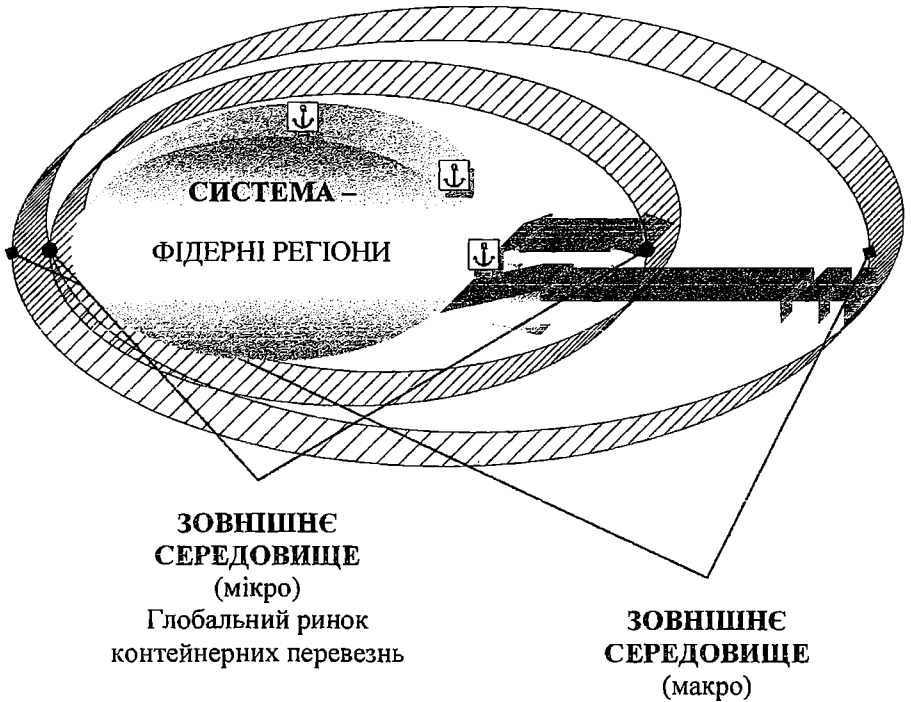


Рис. 1. Графічне представлення системи і зовнішнього середовища

У процесі прийняття рішень про організацію фідерної лінії судновласник (чи оператор) має визначити регіон і, відповідно, базові порти заходу лінії, що неможливо зробити в відриві від інформації про функціонування системи магістральних контейнерних ліній. Тобто, контейнеропотоки, що виникають чи згасають на шляхах магістральних ліній і їх розподіл за портами є основною вхідною інформацією для обґрунтування структури фідерної лінії.

Виходячи з логіки зазначеної позиції, обсяги магістральних перевізників є встановленими (визначеними статистично), а обсяги фідерних ліній є тими, що з'ясовуються.

**Метою статті** є формалізація взаємозв'язку системи фідерних перевезень і її оточуючого мікросередовища – множини магістральних ліній шляхом узгодження параметрів: контейнеромісткості флоту, обсягів контейнеропотоків і їх розподілу між портами.

**Аналіз літератури.** Нажаль, більшість українських і пострадянських джерел містять лише контекстні згадки чи обзорові викладки з приводу магістрально-фідерного функціонування [1-4]. Вперше змістовна постановка задачі обґрунтування оптимального розподілу контейнеропотоків між суднами, залученими до магістрально-фідерного обслуговування вантажопотоків в контейнерній транспортно-технологічній системі, серед українських вчених, була сформульована в роботах [5-7].

**Основний матеріал дослідження.** Перш за усе, слід визначитися у взаємозв'язку даних систем на рівні портів. В системі магістральних контейнерних ліній виділяються порти-хаби, між якими здійснюються перевезення вантажів в контейнерах в рамках глобальних товарних потоків міжнародної торгівлі. Це означає, що обсяги контейнеропотоків в системі магістральних ліній формуються відповідно до структури і за обсягами цієї торгівлі.

Нехай виділено  $m$  портів-хабів, а  $i = \overline{1, m}$  – це індекс цих портів.

Всі порти-хаби можуть бути розподілені за географічною ознакою в групи. В якості такої ознаки встановимо регіон, в межах якого є раціональним розгляд фідерних напрямків. Тобто, виділимо  $n$  фідерних регіонів. Сукупність фідерних регіонів формує географічну специфіку системи фідерних ліній. По суті, фідерні регіони накладаються на основні магістральні маршрути, забезпечуючи повне покриття всіх портів-хабів і фідерних портів.

Таким чином, портам-хабам вводиться в розгляд ще один індекс,  $j = \overline{1, n}$ , який визначає належність порту-хабу до фідерного регіону.

Тобто, порти-хаби розглядаються як точки перетину фідерної системи – і зовнішнього середовища (магістральні лінії), що формалізовано враховано в подвійній індексації портів – з точки зору магістральних ліній ( $i = \overline{1, m}$ ) і з точки зору належності до фідерних регіонів ( $j = \overline{1, n}$ ).

У кожному фідерному регіоні виділимо декілька фідерних портів і  $k_j = \left( \overline{1, K_j}, j = \overline{1, n} \right)$  – індекс фідерних портів  $J$ -го фідерного регіону.

В системі фідерних контейнерних ліній порти-хаби пов'язані з фідерними портами відповідними сервісами.

Відзначимо, що задані фідерні порти розглядаються як потенційні порти для включення в фідерні сервіси. Отже, безліч розглянутих фідерних портів не в повному обсязі може бути задіяною в системі фідерного обслуговування в даний момент часу. Таким чином, в залежності від обсягів контейнеропотоків в фідерному регіоні, і їх розподілу між портами регіону в даний відрізок часу, той чи інший порт може включатися, чи виключатися з фідерних сервісів.

Для кожного порту-хабу розглянутого регіону можуть бути визначені (на базі прогнозів торгівлі) обсяги вхідних (чи вихідних) контейнеропотоків  $Q_{ij}^{екс}$ ,  $Q_{ij}^{имп}$  відповідно. Ці величини формуються в результаті інтеграції вхідних (чи вихідних) контейнеропотоков з/в інші порти-хаби. Множина даних контейнеропотоків пов'яже до купи систему портів-хабів в межах магістральних ліній.

Географічно в кожному фідерному регіоні  $j = \overline{1, n}$  розташовуються порти-хаби (один і більше) і сукупність фідерних портів.

Фідерні порти є проміжною (в більшості випадків) ланкою в інтермодальній системі доставки вантажів в контейнерах (мається на увазі, що деяка частка вантажів в контейнерах доставляється в регіон, де розташований фідерний порт), так як інша частина вантажів направляється далі в регіони країни (чи декілька країн). При цьому можлива ситуація, що одні й ті ж самі пункти відправлення (призначення) можуть тяжіти до різних фідерних портів, внаслідок чого, для вантажовласників можуть бути придатними одночасно декілька фідерних портів.

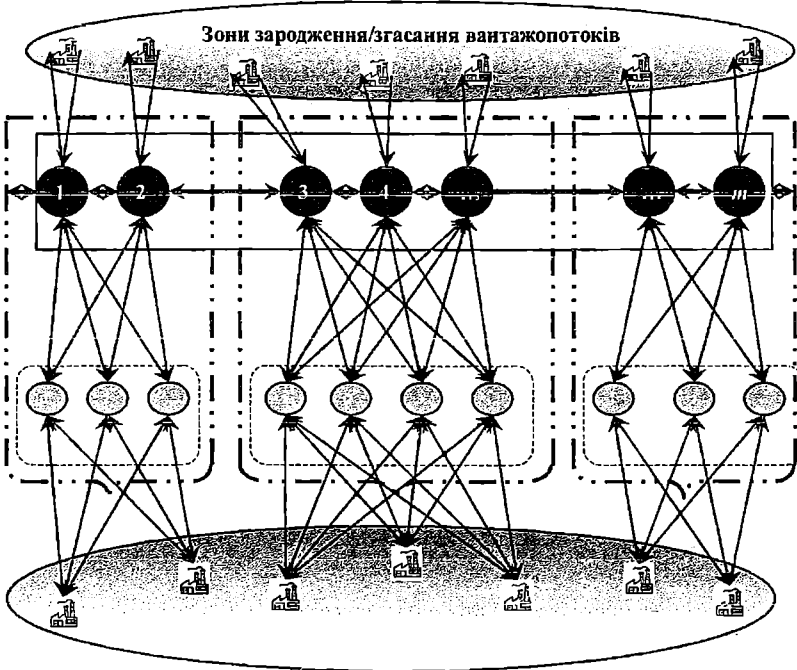


Рис. 2. Модель взаємозв'язків портів, суден і контейнеропотоків систем магістральних і фідерних ліній

Тому, при формуванні фідерної контейнерної лінії і в процесі вирішення питання про включення того чи іншого фідерного (потенційного) порту в лінію слід врахувати географію регіонів зародження (згасання) вантажопотоків.

Таким чином, для кожного фідерного порту заданого регіону можуть бути визначені величини  $Q_{ik_j}^{gx}$ ,  $Q_{ik_j}^{gix}$ , які характеризують потенційні обсяги вхідних і вихідних контейнеропотоків для фідерних портів за певним напрямком з урахуванням географії зовнішньоторговельних зв'язків.

Приймаючи до уваги на викладене вище обґрунтування того, що одні й ті ж контейнеропотоки можуть тяжити до різних фідерних портів, справедливо наступне:

$$\sum_{k_j=1}^{K_j} Q_{ik_j}^{ex} \geq Q_{ij}^{imn}, (j = \overline{1, n}, i \in G_j), \quad (1)$$

$$\sum_{k_j=1}^{K_j} Q_{ik_j}^{vix} \geq Q_{ij}^{ekc}, (j = \overline{1, n}, i \in G_j), \quad (2)$$

Графічно ця нерівність пояснюється рис. 3.

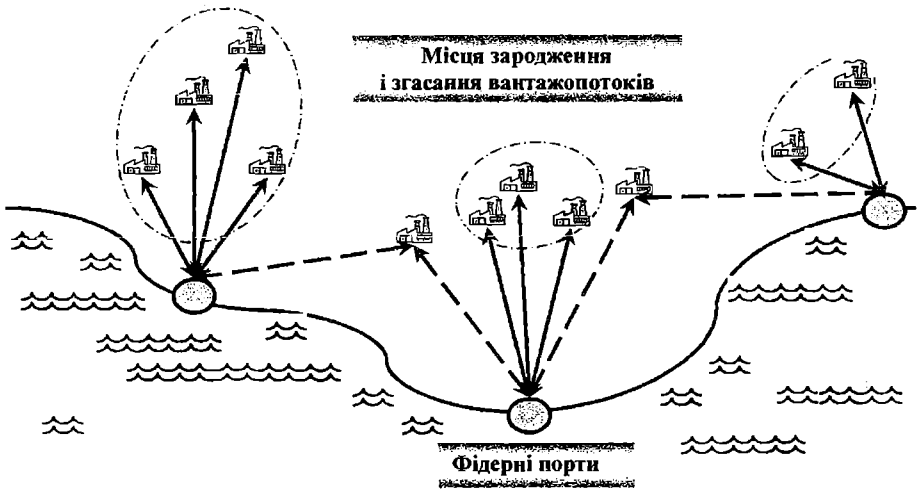


Рис. 3. Зони тяжіння вантажопотоків до різних фідерних портів

В (1)-(2)  $G_j$  – множина портів-хабів  $j$ -го регіону. Відповідно до викладених нерівностей, сума обсягів вхідних/вихідних в/з фідерних портів контейнеропотоків може перевищувати обсяг вхідних/вихідних контейнеропотоків портів-хабів саме тому, що величини,  $Q_{ik_j}^{ex}, Q_{ik_j}^{vix}$  є потенційними, тоді як  $Q_{ij}^{ekc}, Q_{ij}^{imn}$  – встановленими.

Відзначимо, що фідерний сервіс є більш гнучким, ніж магістральний, тому з точки зору вирішуваних в даному дослідженні завдань величини,  $Q_{ik_j}^{ex}, Q_{ik_j}^{vix}$  розглядаються як потенційні.

Частина регіональних контейнеропотоків обслуговуються фідерними суднами компаній, присутніх в конкретному регіоні. На базі аналізу існуючих фідерних сервісів кожного регіону можна встановити усередне-

ний обсяг контейнеропотоків, які вже обслуговуються (мається на увазі, що перевезення даної кількості контейнерів забезпечується вже функціонуючими фідерними сервісами).

Дані обсяги можуть бути оцінені таким чином:

$$\sum_{i \in G_j} \sum_{l_j=1}^{L_j} D_{ik_j}^{l_j} \cdot s_{ik_j}^{l_j} \cdot p_{ik_j}^{l_j}, (k_j = \overline{1, K_j}, j = \overline{1, n}); \quad (3)$$

де  $l_j$  – існуючий фідерний сервіс в регіоні;

$L_j$  – кількість фідерних сервісів в  $j$ -му регіоні;

$D_{ik_j}^{l_j}$  – контейнеромісткість суден  $l_j$ -го фідерного сервісу в  $j$ -му регіоні, що пов'язує фідерний порт з хабом  $i$ ;

$p_{ik_j}^{l_j}$  – коефіцієнт змінності, що дозволяє переходити від контейнеромісткості судна до провізної здатності (в TEU);

$0 < s_{ik_j}^{l_j} \leq 1$  – коефіцієнт, що коригує провізну спроможність суден з врахуванням їх реального завантаження за місткістю. Тут слід зазначити наступне – в залежності від порту і розглянутого відрізка часу судна, що працюють між фідерними портами, можуть використовувати контейнеромісткість в повному або частковому обсязі. Даний коефіцієнт  $s_{ik_j}^{l_j}$  доз-

воляє врахувати цей факт при оцінці потенційно можливого обсягу транспортної роботи на новій фідерній лінії. Відзначимо, що даний коефіцієнт також може бути використаний і для обліку конкурентоспроможності існуючого фідерного сервісу, а саме: якщо даний сервіс характеризується низькою конкурентоспроможністю (наприклад, нераціональна цінова політика, розклад і т. п.), то у нового сервісу виникають шанси «забрати» частину вантажної бази.

Таким чином  $s_{ik_j}^{l_j}$  виконує дві функції – враховує реальні умови роботи фідерних суден як на рівні виробничої діяльності, так і на рівні конкуренції.

З врахуванням «охоплених» контейнеропотоків по портах можна визначити величину

$$Q_{ik_j}^{fn} = (Q_{ik_j}^{ex} + Q_{ik_j}^{aux}) - \sum_{i \in G_i} \sum_{l_j=1}^{L_j} D_{ik_j}^{l_j} \cdot s_{ik_j}^{l_j} \cdot p_{ik_j}^{l_j}, (k_j = \overline{1, K_j}, j = \overline{1, n}), \quad (4)$$

яка визначає потенційний обсяг транспортної роботи по кожному фідерному порту регіону.

Таким чином, ми розглянули взаємозв'язок зовнішнього середовища, що містить в собі множину магістральних ліній, і фідерної системи контейнерних ліній на рівні портів і контейнеропотоків.

Наступним етапом є встановлення взаємозв'язку даних системи і середовища на рівні суден. Тут слід зазначити, що безпосередньо судно не є елементом системи і зовнішнього середовища, а їх взаємозв'язок проявляється опосередковано через контейнеропотоки. По суті судна двох категорій, фідерні і магістральні, забезпечують взаємозв'язок системи і зовнішнього середовища за допомогою контейнеропотоків, реалізуючи фізично розподіл і їх стикування.

Розподіл суден на магістральні та фідерні притаманне комерційній практиці, тобто відсутні архітектурно-конструктивні типи суден «фідерні» або «магістральні», а в основі розподілу лежить контейнеромісткість, яка визначає, в тому числі, осадку судна, а значить і фізичну можливість заходу судна в той чи інший фідерний порт.

Виділимо в структурі світового контейнерного флоту множину суден магістральних і фідерних. Магістральні судна належать системі магістральних ліній, фідерні, відповідно, – системі фідерних ліній. Як характеристику флоту обох будемо використовувати контейнеромісткість.

Нехай контейнеромісткість світового контейнерного флоту, що обслуговує магістральні лінії, становить  $D^M$  TEU. Ця величина встановлюється на базі прогнозування обсягів списання тоннажу  $D^d$  (в TEU), і заявок на поставки (будівництво) нових суден  $D^b$  (в TEU). Таким чином

$$D^M = D^{M'} + D^b - D^d, \quad (5)$$

де  $D^{M'}$  контейнеромісткість (в TEU) магістральних суден в поточний момент часу.

Дана контейнеромісткість  $D^M$  розподіляється між магістральними лініями, які охоплюють порти-хаби.

Кожен регіон є відокремленим, що визначається специфікою товарних потоків, обумовлених світовою торгівлею. Взаємозв'язок регіонів визначається виключно у вигляді однієї єдиної ланки – магістрального і фідерного флоту, який розподіляється по регіонах з врахуванням специфіки попиту.

Контейнеромісткість флоту, обслуговуючого фідерні лінії, становить  $D^{\Phi}$  TEU. Ця величина встановлюється на базі прогнозування обсягів списання тоннажу на злам  $D^{\Phi d}$  (в TEU), і поставок (будівництво) нових суден  $D^{\Phi b}$  (в TEU).



Таким чином

$$D^\Phi = D^{\Phi'} + D^{\Phi b} - D^{\Phi d}, \quad (6)$$

де  $D^{\Phi'}$  – контейнеромісткість (в TEU) фідерних суден в поточний момент часу. Фідерний флот розподіляється між фідерними регіонами. З врахуванням викладеного, справедливо наступне:

$$D^\Phi = \sum_{j=1}^n \sum_{i \in G_j} \sum_{k_j=1}^{K_j} \sum_{l_j=1}^{L_j} D_{ikj}^{l_j}. \quad (7)$$

тобто контейнеромісткість фідерного флоту визначається сумою всіх суден всіх компаній, які обслуговують все фідерні порти і порти-хаби всіх регіонів.

**Висновки.** В результаті концептуальним і формалізованим чином встановлені взаємозв'язки двох ієрархічних рівнів, які є часткою світової системи контейнерного лінійного судноплавства. Формалізовані з точки зору параметрів узгодження даних рівнів наступні показники: контейнеромісткість флоту, обсяги контейнеропотоків і їх розподіл за портами.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Панарин П.Я. Организация работы линейного флота: Учебн. пособие / П.Я. Панарин. – М.: Транспорт, 1980. – 192 с.
2. Контейнерная транспортная система / Под ред. А.Т. Дерибаса. – М.: Транспорт, 1974. – 432 с.
3. Саркисов С.В. Контейнерные перевозки в капиталистических странах / С.В. Саркисов. – М.: Транспорт, 1991. – 161 с.
4. Клименко К.Н. Контейнерные и пакетные перевозки: организация и технология перевозок на морском транспорте / К.Н. Клименко. – М.: Транспорт, 1978. – 192 с.
5. Кириллова Е.В. Магистрально-фидерное обслуживание контейнеропотоков и обоснование решений по их распределению / Е.В. Кириллова, Ю.И. Кириллов // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2012: Сб. научн. трудов SWorld по материалам междунауч. научно-практ. конф. – 18-27 декабря. – 2012. – Одесса. – Т. 1. – Вып. 4. – Одесса: Куприенко, 2012. – С. 10-20.
6. Кириллова О.В. До питання обірунтування розподілу контейнеропотоків між суднами, обслуговуваними магістрально-фідерні лінії / О.В. Кириллова // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2014. – № 2. – С. 55-68.

7. Кириллов Ю.И. Обоснование оптимального распределения контейнеропотоков между судами, обслуживающими магистрально-фидерные линии / Ю.И. Кириллов // Вісник Одеського національного морського університету. – 2013. – № 1. – С. 152-174.

*Стаття надійшла до редакції*

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Одеського національного морського університету **О.В. Кириллова**

доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри «Менеджмент і маркетинг» Одеського національного морського університету **М.Я. Постан**

УДК 656.022.8

**СИСТЕМА ДОСТАВКИ ВАНТАЖУ:  
ЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОНЯТТЯ І ЙОГО ДЕФІНІЦІЯ**

**В.Ю. Король**

асистент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»

*Одеський національний морський університет*

*Анотація.* В роботі розглянуто поняття «система доставки вантажу», встановлено його інтенціональну та екстенціональну характеристики, сформульовано дефініцію, конкретизовано системно-утворюючі фактори, що лежать в основі формування системи доставки вантажу, визначено критерії включення елементів у проєктовану систему та проведено її структурно-функціональний аналіз.

*Ключові слова:* система доставки, транспортно-експедиторська компанія, експедитор.

**СИСТЕМА ДОСТАВКИ ГРУЗА:  
ЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОНЯТИЯ И ЕГО ДЕФИНИЦИЯ**

**В.Ю. Король**

ассистент кафедры «Эксплуатация портов и технология грузовых работ»

*Одесский национальный морской университет*

*Аннотация.* В работе рассмотрено понятие «система доставки груза», установлены его интенциональная и экстенциональная характеристики, сформулирована дефиниция, уточнены системообразующие факторы, лежащие в основе формирования системы доставки груза, обозначены критерии для включения элементов в проектируемую систему и проведен ее структурно-функциональный анализ.

*Ключевые слова:* система доставки, транспортно-экспедиторская компания, экспедитор.

UDC 656.022.8

**CARGO DELIVERY SYSTEM:  
LOGICAL CHARACTERISTIC OF THE CONCEPT AND ITS DEFINITION**

**V.Y. Korol**

Assistant of the Department «Port Operation and Cargo Works Technology»

*Odessa National Maritime University*

*Abstract.* The paper considers the concept of «cargo delivery system», its intensional and extensional characteristics are established, the definition is formulated, clarified the system-forming factors underlying the formation of the cargo delivery system, the criteria for the inclusion of elements in the projected system are indicated and its structural and functional analysis is carried out.

*Keywords:* delivery system, freight forwarding company, freight forwarder.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Одним з базових і широко використовуваних в теорії транспортних процесів і систем є поняття «система доставки вантажу» (СДВ). Його значення є інтуїтивно зрозумілим, але чітко не визначеним. Відсутність універсального й однозначного трактування даного терміна призводить до різночитань у його застосуванні, особливо, поряд з існуванням таких понять як «транспортні», «транспортно-технологічні» і «логістичні» системи. Це актуалізує необхідність загального дефініювання поняття «система доставки вантажу» без його прив'язки до вищеназваних термінів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Різні аспекти становлення, розвитку та функціонування транспортно-технологічних систем (ТТС) доставки вантажів розглядаються в роботах багатьох вчених: С.М. Кочетова, Є.М. Сича, О.Г. Шибаєва, С.П. Онищенко, Ю.І. Кириллова, О.В. Кирилової, В.Ю. Смирковської, К.С. Мелешенко і ін.

Дослідження [1-3] присвячуються конкретним спеціалізованим ТТС доставки вантажів, а саме ролкерній [1], контейнерній [2] і поромній [3].

У роботах [4; 5] розглядаються структура і параметри систем доставки вантажів, а також встановлюються взаємозв'язки між ними. Проте, в [6] «система доставки» позиціонується, як «новий об'єкт для транспортної науки», який «... вимагає відповідного методичного забезпечення процесів організації і управління. Як суб'єкт управління виступає організатор системи доставки вантажів, яким є експедитор з розширеними правами і повноваженнями».

Обсяг і зміст поняття «ТТС» доставки вантажів розкриваються і формалізуються в роботах [7; 8]. В [7; 9] встановлюються існуючі логічні відносини між поняттями «транспортна» (ТС), «транспортно-технологічна» (ТТС) і «логістична» (ЛС) системи. Поняття «ТТС» і «ЛС» розмежовуються з позиції ретроспективного погляду на процеси появи, становлення і розвитку даних систем, а також з позиції їх логічних характеристик. В [7; 10] встановлюються принципові відмінності між цілями, об'єктами управління та специфічними особливостями продукції, виробленої в процесі функціонування даних систем.

Що стосується поняття «система доставки вантажу», то аналіз різних інформаційних джерел показує, що, поряд з інтуїтивно зрозумілим

змістом даного поняття, воно не має однозначного трактування й універсального визначення. Це обумовлює необхідність розкриття його змісту, визначення обсягу і формулювання загальної дефініції.

**Формулювання мети статті.** Метою статті є підведення науково-теоретичного підґрунтя для розуміння змісту, визначення обсягу та формулювання загальної дефініції (дефініювання) поняття «система доставки вантажу». Для досягнення мети в роботі поставлені наступні завдання:

1. Уточнити логічну характеристику поняття «СДВ», як більш загального поняття. Для цього необхідно послідовно:

- позначити базові (опорні) системоутворюючі чинники, що лежать в основі формування системи доставки вантажу;
- виділити основні ознаки (істотні властивості) СДВ, що обумовлюють її відмінність від інших систем або спільність з ними;
- сформулювати дефініцію поняття «СДВ»;
- встановити критерії для включення елементів у СДВ, яка формується (проєктується);
- виявити зв'язки між елементами СДВ і розкрити їх функції.

2. Провести структурно-функціональний аналіз досліджуваної системи.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.** Термін «система» (грец. Σύστημα «ціле, складене з частин; з'єднання») означає множину елементів, що знаходяться у відносинах і зв'язках один з одним, утворюючи певну цілісність і єдність. На відміну від понять «безліч», «сукупність», поняття «система» підкреслює упорядкованість, цілісність, наявність закономірностей побудови, функціонування і розвитку [11]. Існує велика кількість різних визначень поняття «система», які використовуються в залежності від контексту, галузі знань і цілей дослідження. Основний фактор, що впливає на відмінність у визначеннях, полягає в тому, що в понятті «система» є подвійність:

з одного боку, воно використовується для позначення об'єктивно існуючих об'єктів;

з іншого боку – як модель вивчення та представлення цих об'єктів, тобто як суб'єктивна модель реальності [12].

У зв'язку з цією подвійністю, даючи визначення того чи іншого поняття, необхідно відповісти на два питання:

- як об'єктивно відрізнити «систему» від «несистеми»;
- як виділити деяку систему з навколишнього середовища.

Для вирішення першого питання зазвичай досить дати так зване дескриптивне (описове) визначення системи, що включає тільки елементи і зв'язки.

Для відповіді на друге питання потрібно сформулювати конструктивне визначення досліджуваної системи, з урахуванням її мети, функцій, а, можливо, і спостерігача (особа, яка приймає рішення, дослідника, про-

ектувальника і т. п.), який при цьому явно або неявно вводиться у визначення [11].

Іноді, як зазначено в [12], дескриптивне і конструктивне визначення можуть поєднуватися.

В роботі [7] при розгляді і уточненні поняття «ТТС» було запропоновано застосовувати дуалістичний підхід, що полягає у розгляді даного поняття з двох позицій:

- з точки зору традиційної транспортної науки і практики;
- з точки зору логістичного підходу.

Так, з точки зору традиційної транспортної науки і практики поняття «ТТС» визначається через родові поняття «ТС» і відповідну видову відмінність наступним чином [7]: «ТТС – це частина (підсистема) ТС, в рамках якої організовується і здійснюється доставка транспортних засобів, які виступають в якості вантажів, і / або вантажних одиниць (ВО) та ін. інтермодальних транспортних одиниць (ІТО) з вантажем і / або без нього від відправників до одержувачів в прямому або змішаному сполученнях із застосуванням безперевантажувальних технологій і за участю відповідних спеціалізованих суден». Таким чином, елементи ТТС доставки вантажів в рамках ТС об'єднуються за ознакою єдиної технології виробництва, тобто єдиної (безперевантажувальної) технології роботи всіх технічних засобів, задіяних в доставці ВО від відправників до одержувачів в прямому або змішаному сполученнях і з обов'язковою участю відповідних спеціалізованих суден [7].

З точки зору логістичного підходу поняття «ТТС» визначається в роботі [7] через родові поняття «ЛС» та відповідну видову відмінність наступним чином: «ТТС – це матеріалопровідна частина (підсистема) ЛС, в рамках якої переміщення матеріального потоку (МП) між ланками логістичного ланцюга в прямому або змішаному сполученнях організовується і здійснюється із застосуванням безперевантажувальних технологій і за участю відповідних спеціалізованих суден». Таким чином, елементи ТТС в рамках ЛС також об'єднуються за ознакою єдиної (безперевантажувальної) технології переміщення МП між ланками логістичного ланцюга в прямому або змішаному сполученнях і за обов'язковою участю спеціалізованих суден.

Таким чином, очевидно, що «ТТС – це системи доставки цілком конкретних вантажів, а саме транспортних засобів, які виступають в якості вантажів, і / або ВО та ін. ІТО з вантажем і / або без нього від відправників до одержувачів в прямому або змішаному сполученнях із застосуванням безперевантажувальних технологій і за участю відповідних спеціалізованих суден» [7].

Що стосується поняття «система доставки вантажу», то воно є більш загальним, оскільки не містить уточнення, про який саме вантаж йде мова і які транспортні засоби беруть участь у його перевезенні. У свою чергу, очевидно, що для кожного конкретного вантажу повинна бу-

ти сформована своя система доставки, з різним складом елементів і зв'язків. Отже, очевидно, що досліджуване поняття «СДВ», є більш широким, ніж поняття «ТТС». Однак, як відомо, з точки зору логічних характеристик будь-якого поняття, розширення його змісту (збільшення властивостей) призводить до зменшення його обсягу і навпаки. Таким чином, очевидно, що з точки зору формальної логіки, поняттю «СДВ» властиво звуження його обсягу при уточненні конкретного вантажу, для якого необхідно розробити і реалізувати систему доставки.

Таким чином, з точки зору вищеприписаного дуалістичного підходу до поняття ТТС [7], СДВ в залежності від цілей дослідження також може розглядатися в якості структуроутворюючого елемента як ТС, так і ЛС. Однак, розгляд в роботах [7] таких базових для логістики і теорії транспортних процесів і систем понять, як «матеріальний потік» (МП) і «вантажопотік» (ВП), дозволило виявити межі сполучення цих потоків, а також встановити можливі варіанти трансформації запасу в МП, запасу у вантаж, вантажу в ВП, ВП у вантаж, запас і / або МП.

У зв'язку з цим, очевидно, що в разі, коли використовується термін «СДВ», то мова вже йде не про логістичну систему як такову, а про її транспортне забезпечення. Тобто СДВ з точки зору логістики розглядається як транспортуюча підсистема ЛС. У зв'язку з цим, очевидно, що коли оперують поняттями «вантаж» і «вантажопотік», то формування (проектування) відповідних систем доставки здійснюється на основі структуроутворюючих елементів транспортних, а не логістичних систем [13; 14]. При цьому «архітектором» СДВ, а з точки зору системного підходу, її проектувальником (спостерігачем) є експедитор – представник ринку транспортних послуг (РТП). Таким чином, по суті, система доставки вантажу є виділеною за певною ознакою частиною (підсистемою) транспортної системи.

Таким чином, очевидно, наступне:

1. Необхідність у створенні того, що ми називаємо терміном «система доставки вантажу», виникає тоді, коли мова йде про конкретний вантаж і потреби організувати його доставку (наприклад, укладений конкретний зовнішньоторговельний контракт).

2. СДВ, як суб'єктивна модель реальності, починає існувати тільки тоді, коли вона виділяється експедитором (проектувальником, спостерігачем) із загальної безлічі структурних елементів ТС. Однак, очевидно і те, що безліч СДВ, що виділяються із загального універсуму ТС, потенційно необмежена. Виникає два важливих питання:

- що є «творцем» СДВ, тобто які фактори або ознаки є системоутворюючими для формування конкретної СДВ;

- які об'єктивні критерії для виділення з безлічі елементів ТС тих, що найбільш підходять для включення в СДВ, яка проектується.

Далі, безумовно, можуть виникнути й інші питання, але вони вже будуть пов'язані, швидше, з функціонуванням даної СДВ.

Таким чином, для виділення і визначення СДВ потрібно: уточнити базові (опорні) системоутворюючі чинники, що лежать в основі формування СДВ; виділити основні ознаки (істотні властивості) СДВ, що обумовлюють її відмінність від інших систем або спільність з ними; позначити критерії для включення елементів в СДВ, що формується (проектуються); виявити зв'язки між елементами і розкрити їх функції, а також функції системи в цілому. Розглянемо послідовно все вищеперелічене.

Базовими (опорними) системоутворюючими факторами, які лежать в основі формування СДВ, є (рис. 1):

- предмет праці (об'єкт доставки) – вантаж ( $r$ ), який в процесі переміщення, тобто у динаміці розглядається як вантажопотік. Вантажопотік, в свою чергу, характеризується сукупністю певних параметрів: рід вантажу, його транспортні характеристики, обсяг вантажопотоку, структура вантажопотоку, напрямки вантажопотоку, вид плавання (каботаж, закордонний), відстань, час, протягом якого повинен бути освоєний вантажопотік і т. п.

$$r = \{r \mid P(r)\} = \{r \mid P_1(r), P_2(r), \dots, P_i(r), \dots, P_n(r)\}, \quad (1)$$

$$r \in R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n\};$$

- технологія доставки ( $T_r^{дост}$ ) вантажу ( $r$ ) (включаючи, технології складування ( $T_r^{скл}$ ), перевантаження ( $T_r^{перевант}$ ) і перевезення ( $T_r^{перевез}$ ) вантажу  $r$ )

$$T_r^{дост} = \{T_r^{скл}, T_r^{перевант}, T_r^{перевез}\}, \quad (2)$$

$$T_r^{скл} \in T^{скл}, T_r^{перевант} \in T^{перевант}, T_r^{перевез} \in T^{перевез};$$

$$T_r^{скл} = \{T_r^{скл} \mid P(T_r^{скл})\} = \{T_r^{скл} \mid P_1(T_r^{скл}), P_2(T_r^{скл}), \dots, P_i(T_r^{скл}), \dots, P_n(T_r^{скл})\}; \quad (3)$$

$$T_r^{перевант} = \{T_r^{перевант} \mid P(T_r^{перевант})\} = \{T_r^{перевант} \mid P_1(T_r^{перевант}), P_2(T_r^{перевант}), \dots, P_i(T_r^{перевант}), \dots, P_n(T_r^{перевант})\}; \quad (4)$$

$$T_r^{перевез} = \{T_r^{перевез} \mid P(T_r^{перевез})\} = \{T_r^{перевез} \mid P_1(T_r^{перевез}), P_2(T_r^{перевез}), \dots, P_i(T_r^{перевез}), \dots, P_n(T_r^{перевез})\}; \quad (5)$$

- засоби праці – технічні засоби транспорту ( $s$ ) (включаючи, транспортні засоби ( $s^{ТЗ}$ ), засоби транспортного обладнання ( $s^{ТЛО}$ ), засоби перевантажувального обладнання ( $s^{ЗЛО}$ ) та т. п.), що забезпечують доставку (перевезення, перевантаження, складування) вантажу



$$s = \{s | P(s)\} = \{s | P_1(s), P_2(s), \dots, P_i(s), \dots, P_n(s)\},$$
$$s \in S = \{S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n\}.$$

(6)

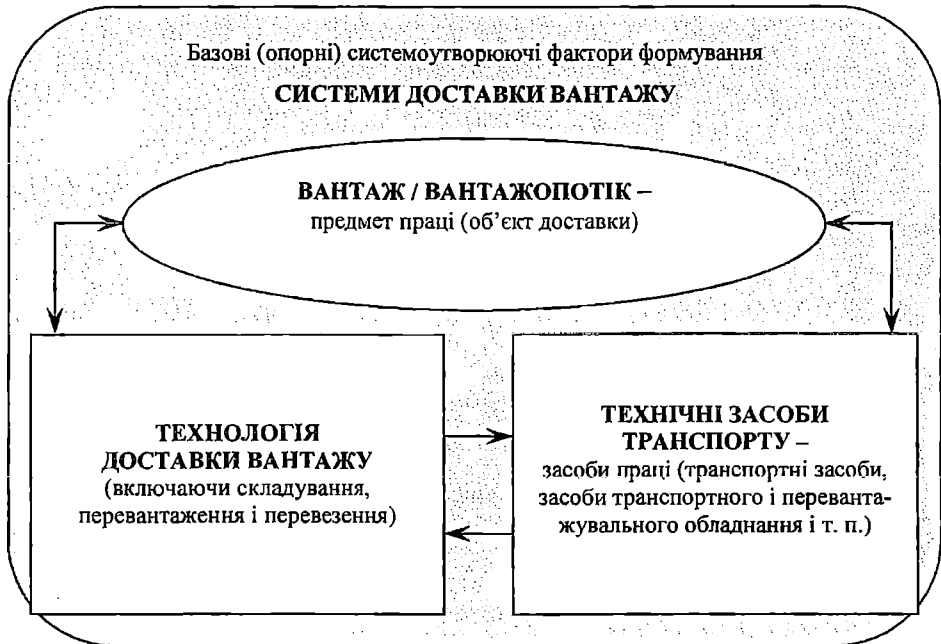


Рис. 1. Базові (опорні) системоутворюючі фактори формування СДВ

Таким чином, вантаж і його транспортні характеристики визначають технологію доставки (включаючи, складування, перевантаження і перевезення). Вантаж і технологія, у свою чергу, визначають всі технічні засоби (включаючи, транспортні засоби, засоби транспортного обладнання, засоби перевантажувального обладнання і т. п.), що забезпечують основні і допоміжні операції по доставці вантажу з використанням певної технології.

Отже, базовими (опорними) «творцями» системи доставки будь-якого вантажу є «ВАНТАЖ / ВАНТАЖОПОТІК», «ТЕХНОЛОГІЯ», «ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТРАНСПОРТУ». Але встановлена тріада базових (опорних) системоутворюючих факторів (рис. 1) ще не є СДВ. Для формування СДВ необхідна певна причина, тобто вихідна потреба, і мета – корисний результат. У зв'язку з цим, потребу доцільно визначити у якості причинного системоутворюючого фактору СДВ, а мету, тобто те, за ради чого створюється і функціонує СДВ доцільно визначити у якості функціонального системоутворюючого фактору.

Після того, як встановлено причинний і функціональний системоутворюючі фактори, а також вищезгадана тріада базових системоутворюючих факторів, можна говорити про систему доставки конкретно вантажу і починати її формування, включаючи в її склад необхідні підсистеми і елементи. Крім того, на етапі, коли всі вище визначені системоутворюючі фактори встановлені, можливо розширювати і звужуючи поняття СДВ. Наприклад, «система доставки вантажу автомобільним транспортом», «система доставки вантажу морським транспортом», «система доставки вантажу авіаційним транспортом», «система доставки вантажу у змішаному сполученні», «система доставки наливних вантажів», «система доставки масових вантажів», «інтермодальна система доставки вантажу» і т. п.

Однак для того, щоб сформулювати дефініцію досліджуваного поняття «СДВ», як більш загального поняття, без прив'язки до конкретних вантажів, технологій і технічних засобів транспорту, необхідно уточнити його інтенціональну і екстенціональну характеристики.

Іntenціональна характеристика поняття «СДВ» відображає його зміст і визначається сукупністю основних ознак (істотних властивостей і відносин). Таким чином, для розкриття змісту поняття «СДВ», необхідно виявити і позначити всі його істотні властивості і відносини, що дозволяють виділити відповідні системи з безлічі інших.

Екстенціональна характеристика поняття «СДВ» відображає його обсяг. Він включає в себе безліч систем, яким притаманний зміст даного поняття «СДВ» і до яких застосовується відповідний однойменний термін. Таким чином, всі системи, що позначаються терміном «СДВ», є елементами обсягу даного поняття.

Обсяг поняття «СДВ» доцільно представити на підставі теоретико-множинного підходу, описаного в [7] стосовно ТТС:

- шляхом перерахування всіх елементів  $x_i$ , що входять до складу множини «СДВ»

$$СДГ = \{ x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n \}; \quad СДГ = \{ СДГ_1, СДГ_2, \dots, СДГ_i, \dots, СДГ_n \}; \quad (7)$$

- шляхом опису множини «СДВ», тобто вказівкою властивості, яка характеризує всі елементи, що входять до даної множини. Цю властивість зазвичай записують після символу «|»

$$СДГ = \{ x | P(x) \}; \quad СДГ = \{ СДГ | P(СДГ) \}, \quad (8)$$

де  $x$  – змінна (сукупність змінних) із множини «СДВ»;

$P(x)$  – ознака змінної, на основі якої проводиться узагальнення об'єктів.

Узагальнимо і систематизуємо логічні характеристики поняття «СДВ» (табл. 1).

Таким чином, формує (проектує) СДВ представник ринку транспортних послуг – експедитор, який у відповідності з договором про транспортне експедирування надає відповідні послуги і працює в рамках чинного законодавства.

Однак, СДВ може формуватися без участі транспортно-експедиторських компаній, а саме безпосередньо перевізником (судноплавною компанією, автотранспортним підприємством і т. п.). Однак, у цьому випадку у структурі такого підприємства, як правило, функціонує спеціалізований відділ, який надає експедиторські послуги. Таким чином, при організації і реалізації систем доставки різних вантажів транспортно-експедиторських послуг уникнути неможливо, який би суб'єкт транспортного ринку їх не надавав, особливо, якщо мова йде про доставку вантажу в міжнародному сполученні.

Таблиця 1

*Логічна характеристика поняття «СДВ»*

Поняття «система доставки вантажу»	
термін	«система доставки вантажу»
Зміст поняття «СДВ» – його інтенціональна характеристика	<p><b>Істотні властивості:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Предмет праці або об'єкт доставки – вантаж і ВП.</li> <li>2. <b>Технологія доставки</b> (включаючи технології складування, перевантаження і перевезення), яка визначається вантажем, та його транспортними характеристиками.</li> <li>3. <b>Засоби праці – технічні засоби транспорту:</b> судна і відповідні тоннажепотокі; технічні засоби суміжних видів транспорту і відповідні транспортні потоки; засоби перевантажувального обладнання в портах, залізничних станціях і транспортних вузлах (ТВ).</li> <li>4. <b>Причина формування СДВ (вихідна потреба)</b> – потреба у доставці конкретного вантажу.</li> <li>5. <b>Мета формування і функціонування СДВ</b> – організація і реалізація доставки конкретного вантажу в потрібне місце, у встановлений час від вантажовідправника до вантажоодержувача з найменшими витратами і при збереженні його заявлених кількісних і якісних характеристик в прямому або змішаному сполученнях за участю відповідних об'єктів транспортної інфраструктури і рухомого складу.</li> <li>6. <b>Продукція СДВ</b> – транспортна послуга з організації та реалізації доставки конкретного вантажу в потрібне місце, у встановлений час від вантажовідправника до вантажоодержувача з найменшими витратами і при збереженні його заявлених кількісних і якісних характеристик в прямому або змішаному сполученнях за участю відповідних об'єктів транспортної інфраструктури і рухомого складу.</li> </ol>

	<p>7. <b>Проектувальник</b> («архітектор», спостерігач) СДВ, який із загальної множини структурних елементів ТС обирає необхідні для включення в СДВ: транспортно-експедиторська компанія; або компанія, яка надає транспортно-експедиторські послуги; або безпосередньо перевізник (судноплавна компанія, автотранспортне підприємство і т. п.); або оператор мультимодального перевезення.</p> <p>8. <b>Об'єкти управління</b> (в залежності від проектувальника СДВ): процеси доставки вантажу (просування ВП) від вантажовідправників до вантажоодержувачів; процеси роботи суден і технічних засобів суміжних видів транспорту; процеси перевалки вантажу в портах і ТВ; процеси роботи засобів перевантажувального обладнання в портах і ТВ, що забезпечують виконання вантажних і складських операцій; процеси обслуговування суден і суміжних видів транспорту в портах і ТВ; процеси просування інформаційного, документального та фінансового потоків, пов'язаних з відповідними ВП і транспортними потоками; процеси узгодження рішень і координації дій між учасниками доставки вантажу.</p>
<b>Обсяг поняття СДВ» – екстенціональна характеристика</b>	Множина систем, до яких застосовується однойменний термін і притаманний зміст даного поняття.

Крім того, в умовах сучасного РТП експедитор і сам може виступати в якості перевізника, не тільки організовуючи системи доставки різних вантажів, а й реалізуючи їх, а також експлуатуючи при цьому власний або орендований парк рухомого складу.

Необхідно відзначити, що систему доставки може формувати і сама виробнича (торгова) компанія власними силами і засобами, вдаючись до допомоги свого структурного підрозділу – логістичного відділу або відповідного співробітника – логіста. Але в цьому випадку, мова йде про «систему доставки товару», а не вантажу. При цьому сама виробнича (торгова) компанія через свого співробітника – логіста (або логістичний відділ) повністю організовує доставку товару, управляє роботою транспортних засобів, що є в розпорядженні компанії, контролює всі операції з товаром, а також самостійно несе відповідальність за збереження його кількісних і якісних властивостей в процесі доставки. Таким чином, в цій ситуації говорять про традиційно логістичні операції.

З метою ж організації доставки свого товару в міжнародному сполученні виробничі (торгові) компанії в більшості випадків через своїх представників – логістів (логістичні відділи, логістичні компанії) звертаються до суб'єктів РТП, які надають транспортно-експедиторські послуги. Як відомо, в момент, коли товар пред'явлений до перевезення, він набуває нової якості – стає вантажем. Далі в процесі транспортування вантаж стає вантажопотоком (ВП). Просування ВП здійснюється технічними засобами різних видів транспорту загального користування [7]. Таким чином, коли

засобом праці є транспорт загального користування (магістральний транспорт), перевезення організують і здійснюють самостійні юридичні особи – транспортні підприємства, а вантажоперевалку – порти і транспортні вузли. Саме вони, а не логісти, займаються питаннями переміщення ВП. Саме вони, а не логісти керують роботою технічних засобів, що реалізують цей транспортний процес.

Виробничі ж компанії, їх логістичні відділи або логістичні компанії, що представляють їх інтереси, не можуть безпосередньо управляти вищезазначеними процесами і впливати на них, незважаючи на те, що саме в їх компетенцію по історично сформованим обставинам [13], входить координація фізичного розподілу своєї продукції і взагалі управління МП. Виробничі компанії і їх представники – логісти (логістичні відділи, логістичні компанії), за фактом, можуть реалізовувати свої функції управління в повному обсязі тільки по відношенню до внутрішньовиробничого транспорту, який є структуроутворюючою частиною відповідних підприємств, тобто частиною їх основних виробничих фондів.

Таким чином, в рамках ЛС, де основним предметом праці є МП, а основною метою – його просування між ланками логістичного ланцюга, існують підсистеми, управління якими виходить за рамки компетенції суб'єктів, які здійснюють управління МП. Тобто настає момент, коли єдине управління наскрізним МП з боку виробничих (торгових) підприємств перестав здійснюватися, а їх участь обмежується, максимум, реалізацією функції контролю за просуванням МП. Ця компетенція закінчується в момент, коли відповідний МП, поданий у формі запасу готової продукції (товару) на склад підприємства (транспортного вузла), перетворюється у вантаж, а потім і у ВП, які, в свою чергу, є предметами праці у ТС.

Поряд з вищесказаним, в статті 1 Закону України «Про транспортно-експедиторську діяльність» [15] чітко сказано, що про те, що клієнт ТЕК – «споживач послуг експедитора (юридична або фізична особа), який за договором транспортного експедирування самостійно або через представника, що діє від його імені, доручає експедитору виконати чи організувати або забезпечити виконання визначених договором транспортного експедирування послуг та оплачує їх, включаючи плату експедитору». Таким чином, очевидно, що деяка особа (фізична або юридична), якій необхідно доставити товар відповідно до умов зовнішньоторговельного контракту в потрібне місце і в потрібний час, може безпосередньо або ж через свого представника звернутися в ТЕК з проханням організувати доставку товару. Цим представником і є логіст (логістична компанія). Тобто логіст і експедитор це суб'єкти різних ринків: перший – представляє товарний ринок, який є одночасно і ринком потенційних вантажовласників. Другий – представляє ринок транспортних послуг і стає агентом вантажовласника після укладення відповідного договору про транспортно-експедиторську діяльність.

Деякі сучасні автори часто відокремлюють ринок логістичних послуг. При цьому, у якості «логістичних» виділяють послуги, які традиційно є транспортно-експедиторськими, у тому числі, і згідно з чинним Законом України «Про транспортно-експедиторську діяльність». Така підміна понять вводить в оману, перш за все, клієнтів, і вносить ще більшу плутанину в теорію і практику функціонування транспортних систем.

На підставі вищесказаного визначати поняття «СДВ» слід, перш за все, через родові поняття «ТС» і відповідну видову відмінність наступним чином.

СДВ – це частина (підсистема) ТС, яку, як правило, формує експедитор, включаючи до її складу підприємства різних форм власності, які працюють на ринку транспортних послуг, пов'язані один з одним договірними відносинами, реалізують певні функції, що спрямовані на вироблення, прийняття і реалізацію узгоджених і взаємопов'язаних у просторі і часі рішень, а також скоординованих дій, які дозволяють забезпечити доставку конкретного вантажу в потрібне місце, у встановлений час від вантажовідправника до вантажоодержувача з найменшими витратами і при збереженні його заявлених кількісних і якісних характеристик, в прямому або змішаному сполученнях за участю відповідних об'єктів транспортної інфраструктури і рухомого складу.

Представлена дефініція поєднує в собі, як дескриптивне, так і конструктивне визначення досліджуваного поняття, оскільки, враховує, як проектувальника (спостерігача) СДВ, так елементи і зв'язки між ними, цілі та функції.

З точки зору логістичного підходу, СДВ сама по собі – не є ЛС – це лише її транспортуюча частина – підсистема її транспортного забезпечення, що виділяється із зовнішнього середовища і формується з елементів ТС різних рівнів і масштабів.

Таким чином з точки зору логістичного підходу поняття «СДВ» можна визначити через родові поняття «ЛС», обмеживши його наступним формулюванням. СДВ – це транспортуюча (матеріалопровідна) частина ЛС, іншими словами, підсистема її транспортного забезпечення, яку формує (проекує) представник РТП – експедитор, включаючи до її складу підприємства різних форм власності, які працюють на РТП, пов'язані один з одним договірними відносинами, реалізують певні функції, що спрямовані на вироблення, прийняття і реалізацію узгоджених і взаємопов'язаних в просторі і часі рішень, а також скоординованих дій, які дозволяють забезпечити переміщення матеріального потоку, перетвореного в конкретний вантажопотік, в потрібне місце, у встановлений час від вантажовідправника до вантажоодержувача з найменшими витратами і при збереженні його заявлених кількісних і якісних характеристик, в прямому або змішаному сполученнях за

участю відповідних об'єктів транспортної інфраструктури і рухомого складу.

Підсистеми, які входять в структуру СДВ це самостійні учасники РТП. Вони опиняються у складі СДВ на етапі її проектування на підставі договорів, що вже існують або тільки укладаються. На етапі же реалізації СДВ саме ці учасники РТП управляють процесами доставки конкретного вантажу, процесами роботи суден і технічних засобів суміжних видів транспорту, процесами перевалки вантажу і т. д. (табл. 1).

Кожен з учасників СДВ при цьому захищає власні інтереси. Однак, ставши учасником СДВ (уклавши договір), дотримати свої інтереси кожен з них може тільки через функції всієї СДВ. Таким чином, всі учасники СДВ пов'язані один з одним єдиною загальносистемною метою, без належної реалізації якої не будуть забезпечені власні інтереси учасників СДВ. Загальносистемна ж мета - це доставка конкретного вантажу в потрібне місце, у встановлений час від вантажовідправника до вантажоодержувача з найменшими витратами і при збереженні його заявлених кількісних і якісних характеристик в прямому або змішаному (міжнародному або каботажному) повідомленнях за участю відповідних об'єктів транспортної інфраструктури і рухомого складу.

Основним критерієм для включення в систему доставки вантажу того чи іншого елемента (підсистеми) є, перш за все, його властивості (загальні та специфічні). Загальні властивості визначають місце елемента у внутрішній організації СДВ, а специфічні – знаходять відображення у функціях цього елемента. При цьому функції визначають поведінку всіх структурних елементів СДВ, природу зв'язків між ними і зовнішнім середовищем (ЗС).

Склад елементів (підсистем) СДВ, а також зв'язки і функції між ними і ЗС, доцільно уточнити за допомогою застосування структурно-функціонального аналізу. Він широко використовується сучасними авторами для дослідження транспортних процесів і систем різних рівнів і масштабів. Оскільки будь-яка ТТС є різновидом СДВ, пропонується, на підставі універсального підходу, запропонованого в роботі [7], узагальнити і уточнити основні положення структурно-функціонального аналізу стосовно до всіх СДВ, незалежно від вантажу, що підлягає доставці, технології його доставки і технічних засобів, що беруть участь у доставці.

Як відомо [16, 17], базовий структурно-функціональний опис будь-якої системи містить структуру даної системи (X), функції (F) її елементів і емерджентність (E). На підставі цього, СДВ не є винятком і характеризується наступними складовими:

$$СДВ = \langle X_{СДВ}; F_{СДВ}; E_{СДВ} \rangle, \quad (9)$$

де  $X_{СДВ}$ ,  $F_{СДВ}$ ,  $E_{СДВ}$  – структура, функції й емерджентність СДВ.

Структурно-функціональний аналіз [16] для уточнення структури (X), функцій (F) і емерджентності (E) СДВ рекомендує розглянути її морфологічний, функціональний і, відповідно, інформаційний описи.

Формалізуємо структуру системи доставки вантажу ( $X_{СДВ}$ ) у вигляді її морфологічного опису

$$X_{СДВ} = \langle x_{СДВ}; H_{СДВ} \rangle, \quad (10)$$

де  $x_{СДВ}$ ,  $H_{СДВ}$  – безліч підсистем СДВ і зв'язків між ними та ЗС.

Як встановлено вище, усі СДВ формуються на РТП з відповідних елементів (підсистем) ТС. Однак, як зазначалося вище, в загальному універсумі ТС може бути виділено необмежену кількість СДВ. У зв'язку з цим, які саме підсистеми входять в структуру розглянутої СДВ, залежить від конкретних умов. Це ж стосується і зв'язків між підсистемами СДВ, а також між самою системою і її ЗС.

Однак, є підсистеми, які слід виділити в структурі будь-якої СДВ, незалежно від вантажу, що підлягає доставці, технології його доставки і технічних засобів транспорту, що беруть участь в доставці. Ці підсистеми належним чином відображені в роботі [7] і при деякому уточненні адекватно застосовні не тільки до ТТС, а й до більш загального поняття «СДВ»:

- підсистема «Клієнт / Власник вантажу» (G) включає в себе сукупність юридичних і фізичних осіб ( $G = \{G_1, G_2, \dots, G_i, \dots, G_n\}$ ) – представників товарного ринку, які самостійно або через свого представника звертаються до експедитора з відповідним попереднім запитом на доставку його товару в потрібне місце і в потрібний час. Після прийняття остаточного рішення щодо вибору експедитора і укладення з ним відповідного договору транспортного експедирування клієнт, по суті, стає вантажовласником (вантажовідправником чи вантажоодержувачем), а його товар починає розглядатися в якості вантажу, оскільки у відповідному договорі він фігурує саме в цій якості («... вказується вид та найменування вантажу» [15, стаття 9]). У зв'язку з цим, товарний ринок доцільно одночасно розглядати і як ринок споживачів транспортних послуг – вантажовласників. Саме цей ринок генерує об'єкти майбутнього перевезення – вантажі ( $r \in R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n\}$ ). Наявність вантажів і потреба в їх перевезенні забезпечують роботою транспортні підприємства і є основоположними «творцями» СДВ. Клієнт, у свою чергу, визначаючись з експедитором, одночасно визначається з тим, хто стане організатором («архітектором») відповідної системи доставки його вантажу;

- підсистема «Підприємства суміжних видів транспорту» (T) є частиною ринку перевізників. При її подальшій деталізації виділяються підсистеми «Судноплавна компанія», «Автотранспортне підприємство», «Залізничний перевізник», «Авіаперевізник» ( $T = \{T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_n\}$ ) [7].



Перевізник визначається [15], як «... юридична або фізична особа, що взяла на себе зобов'язання і відповідальність за договором перевезення вантажу за доставку до місця призначення довіреного їй вантажу, перевезення вантажів та їх видачу (передачу) вантажоодержувачу або іншій особі, зазначеній у документі, що регулює відносини між експедитором та перевізником»;

- підсистема «Посередницькі організації» (O) є частиною ринку посередників. При переході на наступний рівень агрегування в ній виділяються: транспортно-експедиторські, агентські, брокерські та ін. компанії ( $O = \{O_1, O_2, \dots, O_i, \dots, O_n\}$ );

- підсистема «Порти, залізничні станції та ін. транспортні вузли» (P) є частиною ринку підприємств, які здійснюють обслуговування вантажів і транспортних засобів (включаючи перевалку, складування й ін. послуги). При подальшій деталізації цієї підсистеми виділяється підсистема «Портовий оператор», а також підсистеми сервісних підприємств і організацій, державних служб і органів, що функціонують на територіях портів та транспортних вузлів ( $P = \{P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n\}$ ).

Часто підсистеми «Посередницькі організації» (O), «Порти, залізничні станції та ін. транспортні вузли» (P) об'єднуються і перетинаються. Оскільки в сфері транспортного бізнесу функціонування багатьох посередницьких організацій (транспортно-експедиторських, агентських, митно-брокерських та ін.) пов'язано з портами і транспортними вузлами, а також здійснюються безпосередньо на їх територіях.

В цілому, склад підсистем (елементів) СДВ на першому ( $x_{СДВ}^I$ ) і, відповідно, другому ( $x_{СДВ}^{II}$ ) рівнях деталізації, слід уточнити і формалізувати наступним чином:

$$x_{СДВ}^I = \langle T; O; G; P \rangle; \quad (11)$$

$$x_{СДВ}^{II} = \langle T_1, T_2, \dots, T_n; O_1, O_2, \dots, O_n; G_1, G_2, \dots, G_n; P_1, P_2, \dots, P_n \rangle. \quad (12)$$

Кожну підсистему (елемент), відображену в (11) і (12), можна розглядати, як самостійну систему.

Структура СДВ – це не тільки склад її підсистем (елементів), але і все те, що вносить порядок в їх множини. Йдеться про сукупність зв'язків і відносин між розглянутими частинами цілого, без яких неможливе досягнення мети всієї СДВ. Таким чином, всі розглянуті в (11) і (12) підсистеми утворюють логічне ціле – СДВ. Об'єднання всіх підсистем в конкретну СДВ здійснюється для вирішення цілком певного завдання (завдань), яке не може бути вирішено окремо взятими відокремленими підсистемами з розглянутої множини. При цьому існує чіткий розподіл функцій між підсистемами, включеними в СДВ. Тільки завдяки чіткій,

взаємопов'язаній, добре узгодженій роботі всіх підсистем та елементів будь-якої СДВ забезпечується її стабільна робота.

Таким чином, архітектура СДВ, складається не тільки з підсистем і елементів (10), але і з відносин між ними і ЗС. Ці відносини здійснюються за допомогою певних зв'язків ( $H_{СДВ}$ ). Зв'язки між підсистемами і елементами різноманітні: матеріально-речові (конструктивні) і нематеріальні (інформаційно-технологічні), безперервні і дискретні, детерміновані і стохастичні. Зв'язки, у свою чергу, в цілому підрозділяються на: внутрішні, тобто системоутворюючі зв'язки між окремими підсистемами; зв'язки з мікросередовищем і макросередовищем [7]. Кількість зв'язків досить велика, тому доцільно розглядати два вектори (прямий і зворотній) зв'язку. «Орієнтація кожного з них визначає відповідно вхід і вихід підсистеми. Через входи підсистема сприймає зовнішні для неї впливи, а через виходи – сама їх здійснює. Таким чином, зв'язки між підсистемами об'єднують входи одних підсистем з виходами інших» [7]. В роботі [7] були сформовані матриці зв'язків між підсистемами першого і другого рівнів ієрархій ТТС. З причини їх явної універсальності, вони можуть бути адекватно застосовані й для загального опису зв'язків між підсистемами СДВ і ЗС.

Множина зв'язків ( $H_{СДВ}^I$ ) між підсистемами СДВ на першому рівні її декомпозиції в формалізованому вигляді виглядає наступним чином:

$$H_{СДВ}^I = \left\langle \begin{array}{l} H_{T-O}; H_{T-G}; H_{T-P}; H_{T-BC}; \\ H_{O-T}; H_{O-G}; H_{O-P}; H_{O-BC}; \\ H_{G-T}; H_{G-O}; H_{G-P}; H_{G-BC}; \\ H_{P-T}; H_{P-O}; H_{P-G}; H_{P-BC}; \\ H_{BC-T}; H_{BC-O}; H_{BC-G}; H_{BC-P} \end{array} \right\rangle \quad (13)$$

На підставі вищесказаного структура СДВ ( $X_{СДВ}^I$ ) (10) з урахуванням складу елементів, що входять до неї (11) і зв'язків ( $H_{СДВ}^I$ ) між ними (13) на першому рівні декомпозиції описується так:

$$X_{СДВ}^I = \left\langle x_{СДВ}^I; H_{СДВ}^I \right\rangle = \left\langle \underbrace{\langle T, O, G, P \rangle}_{x_{СДВ}^I}; \right. \\ \left. \langle H_{T-O}; H_{T-G}; H_{T-P}; H_{T-BC}; H_{O-T}; H_{O-G}; H_{O-P}; H_{O-BC}; \right. \\ \left. H_{G-T}; H_{G-O}; H_{G-P}; H_{G-BC}; H_{P-T}; H_{P-O}; H_{P-G}; H_{P-BC}; \right. \\ \left. H_{BC-T}; H_{BC-O}; H_{BC-G}; H_{BC-P} \rangle \right\rangle \quad (14)$$

$H_{СДВ}^I$

Аналогічно (14) уточнюється і формалізується структура СДВ ( $X_{СДВ}''$ ) на другому рівні її декомпозиції з урахуванням повноти зв'язків між її елементами

$$\begin{aligned}
 X_{СДВ}'' &= \langle x_{СДВ}''; H_{СДВ}'' \rangle = \langle \underbrace{\langle T, O, G, P \rangle}_{x_{СДВ}}; \langle H_{СДВ}'' \rangle \rangle = \\
 &= \langle \underbrace{\langle T_1, T_2, \dots, T_n; O_1, O_2, \dots, O_n; G_1, G_2, \dots, G_n; P_1, P_2, \dots, P_n \rangle}_{x_{СДВ}}; \\
 &\langle H_{T_1-T_n}, H_{T_1-O_1}, \dots, H_{T_1-O_n}, H_{T_1-G_1}, \dots, H_{T_1-G_n}, H_{T_1-P_1}, \dots, H_{T_1-P_n}, H_{T_1-BC}, \\
 &H_{T_n-T_1}, \dots, H_{T_n-O_1}, \dots, H_{T_n-O_n}, H_{T_n-G_1}, \dots, H_{T_n-G_n}, H_{T_n-P_1}, \dots, H_{T_n-P_n}, H_{T_n-BC}, \\
 &H_{O_1-T_1}, \dots, H_{O_1-T_n}, \dots, H_{O_1-O_n}, H_{O_1-G_1}, \dots, H_{O_1-G_n}, H_{O_1-P_1}, \dots, H_{O_1-P_n}, H_{O_1-BC}, \\
 &H_{O_n-T_1}, \dots, H_{O_n-T_n}, H_{O_n-O_1}, \dots, H_{O_n-G_1}, \dots, H_{O_n-G_n}, H_{O_n-P_1}, \dots, H_{O_n-P_n}, H_{O_n-BC}, \\
 &H_{G_1-T_1}, \dots, H_{G_1-T_n}, H_{G_1-O_1}, \dots, H_{G_1-O_n}, \dots, H_{G_1-G_n}, H_{G_1-P_1}, \dots, H_{G_1-P_n}, H_{G_1-BC}, \\
 &H_{G_n-T_1}, \dots, H_{G_n-T_n}, H_{G_n-O_1}, \dots, H_{G_n-O_n}, H_{G_n-G_1}, \dots, H_{G_n-P_1}, \dots, H_{G_n-P_n}, H_{G_n-BC}, \\
 &H_{P_1-T_1}, \dots, H_{P_1-T_n}, H_{P_1-O_1}, \dots, H_{P_1-O_n}, H_{P_1-G_1}, \dots, H_{P_1-G_n}, \dots, H_{P_1-P_n}, H_{P_1-BC}, \\
 &H_{P_n-T_1}, \dots, H_{P_n-T_n}, H_{P_n-O_1}, \dots, H_{P_n-O_n}, H_{P_n-G_1}, \dots, H_{P_n-G_n}, \dots, H_{P_n-P_1}, \dots, H_{P_n-BC}, \\
 &H_{BC-T_1}, \dots, H_{BC-T_n}, H_{BC-O_1}, \dots, H_{BC-O_n}, H_{BC-G_1}, \dots, H_{BC-G_n}, \dots, H_{BC-P_1}, \dots, H_{BC-P_n} \rangle \rangle; \\
 &\underbrace{H_{СДВ}}
 \end{aligned} \tag{15}$$

Модель структурно-функціонального опису СДВ (9) з урахуванням складу її елементів (11) і зв'язків ( $H_{СДВ}^I$ ) між ними на першому рівні декомпозиції (14) формалізується наступним чином:

$$\begin{aligned}
 СДВ &= \langle X_{СДВ}; F_{СДВ}; E_{СДВ} \rangle = \langle \langle \underbrace{\langle T, O, G, P \rangle}_{x_{СДВ}}; \langle H_{СДВ}^I \rangle \rangle; F_{СДВ}; E_{СДВ} \rangle = \\
 &= \langle \langle \underbrace{\langle T, O, G, P \rangle}_{x_{СДВ}}; \underbrace{\left\langle \begin{array}{l} H_{T-O}; H_{T-G}; H_{T-P}; H_{T-BC}; \\ H_{O-T}; H_{O-G}; H_{O-P}; H_{O-BC}; \\ H_{G-T}; H_{G-O}; H_{G-P}; H_{G-BC}; \\ H_{P-T}; H_{P-O}; H_{P-G}; H_{P-BC}; \\ H_{BC-T}; H_{BC-O}; H_{BC-G}; H_{BC-P} \end{array} \right\rangle}_{H_{СДВ}^I} \rangle; F_{СДВ}; E_{СДВ} \rangle. \tag{16}
 \end{aligned}$$

Модель структурно-функціонального опису СДВ (9) з урахуванням складу елементів (12) і зв'язків ( $H_{СДВ}''$ ) між ними (15) на другому рівні її деталізації формалізується так:

$$СДВ = \langle X_{СДВ}; F_{СДВ}; E_{СДВ} \rangle = \langle \langle \underbrace{\langle T, O, G, P \rangle}_{x_{СДВ}}; \langle H_{СДВ}'' \rangle \rangle; F_{СДВ}; E_{СДВ} \rangle =$$

$$\begin{aligned}
&= \langle \langle \underbrace{\langle T_1, T_2, \dots, T_n; O_1, O_2, \dots, O_n; G_1, G_2, \dots, G_n; P_1, P_2, \dots, P_n \rangle}_{x_{СДВ}^H}; \langle H_{СДВ}^H \rangle \rangle; F_{СДВ}; E_{СДВ} \rangle = \\
&= \langle \langle \underbrace{\langle T_1, T_2, \dots, T_n; O_1, O_2, \dots, O_n; G_1, G_2, \dots, G_n; P_1, P_2, \dots, P_n \rangle}_{x_{СДВ}^H}; \\
&\quad \langle H_{T_1-T_n}, H_{T_1-O_1}, \dots, H_{T_1-O_n}, H_{T_1-G_1}, \dots, H_{T_1-G_n}, H_{T_1-P_1}, \dots, H_{T_1-P_n}, H_{T_1-BC}, \\
&\quad H_{T_n-T_1}, \dots, H_{T_n-O_1}, \dots, H_{T_n-O_n}, H_{T_n-G_1}, \dots, H_{T_n-G_n}, H_{T_n-P_1}, \dots, H_{T_n-P_n}, H_{T_n-BC}, \\
&\quad H_{O_1-T_1}, \dots, H_{O_1-T_n}, \dots, H_{O_1-O_n}, H_{O_1-G_1}, \dots, H_{O_1-G_n}, H_{O_1-P_1}, \dots, H_{O_1-P_n}, H_{O_1-BC}, \\
&\quad H_{O_n-T_1}, \dots, H_{O_n-T_n}, H_{O_n-O_1}, \dots, H_{O_n-G_1}, \dots, H_{O_n-G_n}, H_{O_n-P_1}, \dots, H_{O_n-P_n}, H_{O_n-BC}, \\
&\quad H_{G_1-T_1}, \dots, H_{G_1-T_n}, H_{G_1-O_1}, \dots, H_{G_1-O_n}, \dots, H_{G_1-G_n}, H_{G_1-P_1}, \dots, H_{G_1-P_n}, H_{G_1-BC}, \\
&\quad H_{G_n-T_1}, \dots, H_{G_n-T_n}, H_{G_n-O_1}, \dots, H_{G_n-O_n}, H_{G_n-G_1}, \dots, H_{G_n-P_1}, \dots, H_{G_n-P_n}, H_{G_n-BC}, \\
&\quad H_{P_1-T_1}, \dots, H_{P_1-T_n}, H_{P_1-O_1}, \dots, H_{P_1-O_n}, H_{P_1-G_1}, \dots, H_{P_1-G_n}, \dots, H_{P_1-P_n}, H_{P_1-BC}, \\
&\quad H_{P_n-T_1}, \dots, H_{P_n-T_n}, H_{P_n-O_1}, \dots, H_{P_n-O_n}, H_{P_n-G_1}, \dots, H_{P_n-G_n}, \dots, H_{P_n-P_1}, \dots, H_{P_n-BC}, \\
&\quad \underbrace{H_{BC-T_1}, \dots, H_{BC-T_n}, H_{BC-O_1}, \dots, H_{BC-O_n}, H_{BC-G_1}, \dots, H_{BC-G_n}, \dots, H_{BC-P_1}, \dots, H_{BC-P_n}}_{H_{СДВ}^H} \rangle \rangle; \\
&\quad F_{СДВ}; E_{СДВ} \rangle. \tag{17}
\end{aligned}$$

Процес деталізації СДВ можна продовжувати і далі. Масштаб даної системи, рівень її деталізації, правомірність включення тих чи інших підсистем і елементів залежать від конкретних умов функціонування даної СДВ і цілей дослідження.

Всі розглянуті у типовій моделі системи доставки вантажу підсистеми й елементи, є потенційними структуроутворюючими частинами інших подібних систем, оскільки мають схожі властивості (загальні і специфічні). Виходячи з цілей дослідження і взятих за основу системоутворюючих ознак, вони можуть входити до складу систем доставки різних вантажів.

Розвиток і вдосконалення кожного структуроутворюючого елемента (підсистеми) системи доставки вантажу сприяють в цілому підвищенню ефективності її функціонування.

## Висновки

1. Одним з базових і широко використовуваних в теорії транспортних процесів і систем є поняття «система доставки вантажу». Аналіз різних інформаційних джерел показав, що, поряд з інтуїтивно зрозумілим змістом даного поняття, воно не має однозначного трактування і універсального визначення. Це актуалізує необхідність розкриття його змісту, визначення обсягу і формулювання загальної дефініції.

2. У зв'язку з вищесказаним, метою статті є підведення науково-теоретичного підґрунтя для розуміння змісту, визначення обсягу та формулювання загальної дефініції поняття «система доставки вантажу». Для досягнення мети в роботі поставлені та поступово вирішені певні завдання.

3. В результаті вирішення першого завдання в роботі уточнено логічну характеристику поняття «СДВ», як більш загального поняття. Для цього послідовно:

- визначено базові (опорні) системоутворюючі фактори, що лежать в основі формування СДВ;
- сформульована дефініція поняття «СДВ»;
- відокремлено основні ознаки (істотні властивості) СДВ, які обумовлюють її відмінність від інших систем або спільність з ними;
- встановлено критерії для включення елементів в СДВ, що формується (проектуються);
- виявлено зв'язки між елементами СДВ і розкрито їх функції.

4. В результаті вирішення другого завдання проведено структурно-функціональний аналіз системи доставки вантажу.

5. Отримані універсальні моделі математичного опису системи доставки вантажу є результатом формалізованого теоретико-множинного підходу до її дослідження. Отримані моделі з достатнім ступенем повноти і узагальнення відображають характерні властивості СДВ на даному рівні її проектування.

У той же час ці моделі є наочними і доступними. У зв'язку з цим вони можуть використовуватися в якості базових для подальшого дослідження приватних систем доставки певних вантажів з урахуванням конкретних транспортних технологій і технічних засобів, що забезпечують доставку.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириллова Елена Викторовна. Организация и управление работой судов в ролкерной транспортно-технологической системе: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Кириллова Елена Викторовна. – Одесса, 2005. – 229 с.
2. Кириллов Юрий Иванович. Организация и управление работой судов в контейнерной транспортно-технологической системе: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Кириллов Юрий Иванович. – Одесса, 2013. – 312 с.
3. Мелешенко Катерина Сергіївна. Забезпечення сталого функціонування вантажопасажирських поромів: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Мелешенко Катерина Сергіївна. – Одесса, 2018. – 350 с.

4. Смирковская В.Ю. Структура и параметры систем доставки грузов // Методы та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб.наук.праць. – Одеса: ОНМУ, 2005. – № 10. – С.173-184.
5. Онищенко С.П. Взаимосвязь основных параметров систем доставки / С.П. Онищенко, В.Ю. Смирковская // Вестник ОНМУ: Сб.научн.трудов. – Одесса: ОНМУ, 2005. – № 18. – С. 207-218.
6. Смирковська В.Ю. Методичні основи організації систем доставки вантажів з використанням засобів укрупнення: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспорт. системи» / Смирковська Вікторія Юрійівна; Одес. нац. мор. ун-т. – Одеса, 2008. – 22 с.
7. Кириллова О.В. Теоретичні основи управління роботою флоту у транспортно-технологічних системах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01 – транспортні системи / Кириллова Олена Вікторівна; Одес. нац. мор. ун-т. – Одеса, 2017. – 470 с.
8. Шибает А.Г. Транспортно-технологические системы доставки грузов (определения и противоречия) / А.Г. Шибает, Е.В. Кириллова // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2008: Сб. научн. тр. по материалам междунар. научно-практ. конф., 15-25 декабря 2008 г., Одесса. Том 1. Транспорт, Туризм и рекреация. – Одесса: Черноморье, 2008. – С. 3-6.
9. Кириллова Е.В. Теоретико-множественный подход к формализации логических отношений между понятиями «транспортная», «транспортно-технологическая» и «логистическая» системы / Е.В. Кириллова // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2014. – Вип. 1 (40). – С. 153-175.
10. Кириллова Е.В. Идентификация транспортно-технологической системы в качестве транспортирующей подсистемы логистической системы / Е.В. Кириллова // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2015. – Вип. 1 (43). – С. 128-148.
11. Волкова В.Н. Теория систем и системный анализ / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – М.: Юрайт, 2014. – 616 с. – ISBN 978-5-9916-4213-2.
12. Кориков А.М., Павлов С.Н. Теория систем и системный анализ / А.М. Кориков, С.Н. Павлов. – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2008. – 264 с. – ISBN 978-5-86889-478-7.

13. Король В.Ю. Логистически-ориентированная транспортная терминология: модный тренд или нарушение традиций / В.Ю. Король, Е.В. Кириллова, // *Научный взгляд в будущее: международное периодическое научное издание.* – Вып. 9. Том 2. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018. – 113 с. – С. 4-16. – ISSN 2415-766X (Print). – ISSN 2415-7538 (Online). – DOI: 10.30888/2415-7538.2018-09-2-052.
14. Король В.Ю. Застосування «наукоподібних» слів терміна «логістика» у сфері транспортних технологій: проблема або сучасна тенденція / В.Ю. Король, О.В. Кириллова // *Міжнародна науково-технічна конференція «Технології та інфраструктура транспорту», Харків, 14-16 травня 2018 р.: тези доповідей.* – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – 190 – 193 с.
15. Закон України «Про транспортно-експедиторську діяльність» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1955-15>
16. Воевудский Е.Н. Управление на морском транспорте [Текст] / Е.Н. Воевудский. – М. : Транспорт, 1993. – 366 с.
17. Орловский П.Н. Системный анализ (основные понятия, принципы, методология) [Текст] / П.Н. Орловский. – К.: ИСМО, 1996. – 360 с.

*Стаття надійшла до редакції 17.09.2018*

### **Рецензенти:**

доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри «Менеджмент і маркетинг» Навчально-наукового інституту морського бізнесу Одеського національного морського університету **М.Я. Постан**

кандидат технічних наук, професор кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Навчально-наукового інституту морського бізнесу Одеського національного морського університету **Д.М. Решетков**

УДК 656.073.28

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕВОЗКИ ПРОЕКТНЫХ ГРУЗОВ

**О.В. Акимова**

к.т.н., доцент кафедры

«Эксплуатация флота и технология морских перевозок»

**А.Н. Мельник**

аспирант кафедры «Эксплуатация флота и технология морских перевозок»

*Одесский национальный морской университет*

***Аннотация.** В работе рассматриваются тенденции роста различных отраслей промышленности и связанное с этим развитие проектов, для строительства которых потребовалось использование нового уникального оборудования, получившего название «проектные грузы», процесс перевозки которых включает в себя комплекс мероприятий, ключевым аспектом которых и является этап планирования.*

***Ключевые слова:** проектные грузы, инфраструктурные проекты, планирование перевозки;*

## ОРГАНІЗАЦІЙНІ АСПЕКТИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПРОЕКТНИХ ВАНТАЖІВ

**О.В. Акимова**

к.т.н., доцент кафедри

«Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»

**А.Н. Мельник**

аспірант кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»

*Одеський національний морський університет*

***Анотація.** В роботі розглядаються тенденції зростання різних галузей промисловості і пов'язаних з цим розвиток проектів, для будівництва яких потрібно використання нового унікального обладнання, що отримав назву «проектні вантажі», процес перевезення яких включає в себе комплекс заходів, ключовим аспектом яких і є етап планування.*

***Ключові слова:** проектні вантажі, інфраструктурні проекти, планування перевезення.*



UDC 656.073.28

ORGANIZATIONAL ASPECTS  
OF THE PROJECT CARGO TRANSPORTATION.

**O. Akimova**

Ph.D. Asst.Prof. Department of fleet operation and shipping technology

**O. Melnyk**

Master mariner, post-grad Department of fleet operation and shipping technology

*Odessa National Maritime University*

***Abstract.** The article examines the growth trends of various industries and the related development of projects for the construction of which required the use of new expensive unique project cargoes, the process of transportation of which includes a whole range of activities, a key aspect of which is the planning stage.*

***Keywords:** project cargo, infrastructure projects, transportation planning.*

**Введение.** Глобальные изменения в мировой экономике последних десятилетий вызвали спрос на крупные инфраструктурные проекты в мировом масштабе. Такие проекты получили свое развитие в отраслях промышленности занятых разработками в области нефтегазодобычи, проектировании и строительстве заводов для химической и нефтехимической промышленности, ветрогенераторных электростанций, горнодобывающих платформ. Все это обусловило факт возникновения и увеличения количества крупных инфраструктурных проектов и рост количества строительных площадок по всему миру. Такие явления породили эпоху, когда массивные конструкции и крупногабаритные наземные грузы перевозятся из различных мест в один или несколько международных пунктов назначения одновременно. Наряду с этим экономический рост развивающихся стран, стран с переходной экономикой и модернизация инфраструктуры в развитых экономических странах объясняет применение специализированных проектов, связанных с ведущими отраслями промышленности в этих странах.

**Анализ основных достижений литературы.** Разработка и планирование проектов перевозки негабаритных грузов с середины-конца XX века велась заблаговременно и за несколько лет до начала самой перевозки. Это было вызвано недостаточными техническими возможностями транспортного оборудования и техники того времени поэтому большинство научных работ по данному вопросу посвящено развитию технических и технологических схем при организации перевозок негабаритных грузов на различных видах транспорта. Так, например, работы Позднякова В.А., Чернышевой Л.А., Амирова Т.К. [1-3] посвя-

щены детальному изучению различных технологических схем доставки негабаритных грузов автомобильным транспортом, однако отсутствуют требования к перевозке морским транспортом. В работах Писаревского Г.Е. Троицкой Н.А. и Павлова В.В. [4; 5] основной акцент делается не только на приспособленность железнодорожного транспорта к перевозке негабаритных грузов, но и раскрыты технические и технологические приемы перевозок грузов, приведен сравнительный анализ перевозок грузов различными видами транспорта, однако при этом не учтена возможность использования морского транспорта. Отдельное место отведено вопросам организации перевозки негабаритных грузов в учебных пособиях как зарубежных авторов – Бенсон Д., Уайтхед Д. [6] так и отечественных – А.А. Смехов, А.Д. Малов, А.М. Островский, Д.И. Данилов, В.В. Белецкий [7; 8], где изложены теоретические аспекты без учета особенностей морского транспорта.

Ввиду того, что аспекты организации перевозок негабаритных грузов для авиационного транспорта отражены в научных работах А.Н. Матовникова, где предложена разработка методики моделирования погрузочно-разгрузочных процессов, а также разработан погрузочно-разгрузочный комплекс негабаритных грузов для авиaperезовок, а вопросы организации перевозок негабаритных грузов на железнодорожном транспорте, проблемы возникающие при перевозке таких грузов и пути их решения в работах Р.Х. Имаметдинова, то учитывая использование современного подхода к организации перевозок в интермодальном и смешанном сегменте с участием водного транспорта возникла необходимость также рассмотреть некоторые организационные аспекты перевозки проектных грузов на морском транспорте и применить некоторые методики организации и планирования таких перевозок является актуальной задачей.

**Цель исследования, постановка задачи.** Особенность специализированных проектов в том, что вовлеченные в проект процессы потребовали применения уникального оборудования на основе высокотехнологичных агрегатов, узлов и механизмов, которые по своей сути требуют специальных условий перевозки не подвергаясь разборке, демонтажу, отсоединению на составные части, блоки и механизмы ввиду высокой стоимости и уникальности производства. Основываясь на целевом назначении грузов, возникла необходимость обособить данную группу в отдельную категорию под названием «проектные грузы» подразумевая под этим понятием партии груза, которые состоят из крупногабаритных, тяжеловесных, длинномерных мест, а также дорогостоящих, технологически сложных единиц специального оборудования и материалов предназначенных для удаленной сборки/монтажа/конструирования в процессе строительства различного рода проектов (заводов, фабрик, станций, мостов, причалов, ж/д путей и т.д.) и рассмотреть организационные аспекты для осуществления таких перевозок

*Сравнительная таблица импорта и экспорта  
проектных грузов из Китая в годовом эквиваленте, долл. США.  
Дата выпуска – 23 сентября 2018 г.*

Доллары США (Млн.)							
год	всего	экспорт	импорт	торговый баланс	Аналогичный период прошлого года ± %		
					импорт и экспорт	экспорт	импорт
1982	41,606	22,321	19,285	3,036	-5,5	1,4	-12,4
1985	69,602	27,350	42,252	-14,902	30,0	4,6	54,1
1990	115,436	62,091	53,345	8,746	3,4	18,2	-9,8
1995	280,864	148,780	132,084	16,696	18,7	23,0	14,2
2000	474,297	249,203	225,094	24,109	31,5	27,8	35,8
2005	1,421,906	761,953	659,953	102,001	23,2	28,4	17,6

Согласно Национальному бюро статистики Китая только за 2017 календарный год суммарный объем экспорта таких грузов оценивался в 383 млрд. долларов, увеличившись на 11,6 % по сравнению с предыдущим годом и уже только за первое полугодие текущего 2018 года увеличился на 10,1 %. Перечень отраслей промышленности, в которых используются проектные грузы, довольно широк, однако за последние несколько десятилетий потребности в транспортировке для конкретных отраслей промышленности продолжают расти более быстрыми темпами. Ожидается, что глобальные специализированные проекты для ветряных электростанций будут расти в Азии, Северной Америке и Европе. Строительство ядерных заводов в Китае, Индии, Южной Америке и на Ближнем Востоке также будет способствовать росту такого рода перевозок. Спрос на высокотехнологичное оборудование для горнодобывающей промышленности увеличивается из-за растущей потребности в металлопрокатных изделиях. По прогнозам, к 2035 году потребление природного газа во всем мире увеличится почти на 50 %. Внушительные объемы запасов сланцевого газа в Соединенных Штатах также являются одним из наиболее перспективных факторов, которые следует учитывать, поскольку здесь также наблюдается характерный спрос на проектные грузы.

Проектный груз может состоять из нескольких партий единичных отправок, но может и охватывать широкий диапазон, как по объему перевозимых грузов, так и по стоимости. Это может означать что с целью реализации одного конкретного проекта одно или несколько грузовых мест оборудования транспортируются из пункта А в пункт Б или в несколько различных пунктов назначения одновременно в течение определенного периода времени. Оборудование и материалы могут поставляться как по всему миру, так и для разработки одного определенного проекта в масштабах отдельно взятой страны.

Груз может переменяться по суше, морю или воздуху и может включать интермодальные перевозки с использованием автомобильного или железнодорожного транспорта, могут быть задействованы вспомогательные краны, морские или речные суда, транспорты и баржи.

Перевозка такой группы грузов может осуществляться смешанными видами транспорта, как на внутреннем рынке, так и для международной торговли.

Так как транспортировка подобных грузов посредством автотранспорта, железнодорожного или авиатранспорта является в ряде случаев либо затруднительным, дорогостоящим и подчас и трудноосуществимым процессом, а если вообще говорить о трансконтинентальных перевозках, то именно морские перевозки – самый доступный и вместе с тем экономичный способ транспортировки проектных грузов, которые и являются основными объектами перевозок данного вида транспорта на сегодняшний день.

Что касается самого морского транспорта, то здесь ведущим морским перевозчиком продолжает оставаться компания Maersk, доля рынка которой составляет 15 %.

Второе место занимает компания «MediterraneanShgCo», доля рынка 13 %.

Третье место – «СМАСГМGroup» с долей 8 %. И далее 10 крупнейших фирм контролируют 60 % мирового рынка.

Согласно предварительным оценкам ЮНКТАД, объем мировых морских перевозок уже в 2014 году увеличился на 3,4 %, т.е. так же, как и имел тенденцию роста в 2013 году. В частности, доля сухих массовых грузов составляет 15 % что соизмеримо с контейнерными перевозками и превышает долю сухих навалочных грузов таких как уголь, руда и долю прочих сухих грузов этом сегменте.

Таким образом объем перевозок возрос более, чем на 300 млн. т до 9,84 млрд. тонн. Эта динамика была отмечена в контексте таких факторов, как: а) замедление роста в крупных развивающихся странах с формирующейся рыночной экономикой; б) снижение цен на нефть и ввод в эксплуатацию новых нефтеперерабатывающих мощностей и с) медленное и неравномерное оживление экономики в развитых странах.

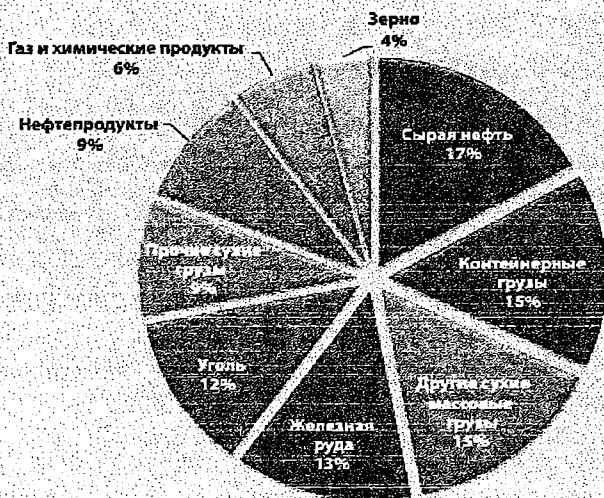


Рисунок. Структура международных морских перевозок, 2014 г.

Источник: Секретариат ЮНКТАД на основе Clarkson Research, Seaborne Trade Monitor, 2(5), May 2015

Значительное увеличение количества разрабатываемых и строящихся проектов побудило ведущие мировые компании искать наиболее эффективные методы транспортировки грузов для строительства таких проектов, поскольку, приступая к крупным и дорогостоящим проектным грузовым операциям, пропорционально возрастают и соответствующие риски во время проведения этих операций.

Перевозка проектных грузов относится к числу наиболее сложных и трудоемких. Компания-перевозчик несет большую ответственность за сохранность и целостность груза перед грузовладельцем. Во время транспортировки учитываются все наиболее важные и значимые факторы, поэтому на стадии планирования внимание акцентируется на выработке наиболее оптимальных решений для транспортировки груза, что позволяет оптимизировать затраты, а также осуществить поставленную задачу в кратчайшие сроки. Поскольку проектные грузы приобретаются и перевозятся на международном уровне, для компаний (которые проектируют, строят и поставляют инфраструктурные проекты) важно иметь и развивать эффективную транспортную экспертную оценку для планирования перевозки предстоящего проекта. Это определяет успех перевозки в целом и представляет огромную ценность на каждом этапе.

Проектный груз должен быть предварительно спланирован таким образом, чтобы еще на ранней стадии все было максимально возможно обусловлено задолго до его финансирования, разработки дизайна или поиска источников приобретения.

Общий успех проекта напрямую связан с тем, насколько успешно доставляются как материалы и сырье, так и готовые проектные грузы.

В этом контексте понимание требований к планированию грузо-перевозок и включение определенной практики в процесс планирования проекта предотвратит общие проблемы, снизит риск и приведет к наиболее положительным результатам при формировании требований к осуществлению проектов.

Основной ключ к успешной реализации проекта – это сам этап планирования перевозки проектных грузов. Четкая проработка соответствующего плана для каждого этапа грузоперевозки: от расчетов по размещению до фактической выгрузки гарантирует отсутствие проблем на протяжении всего процесса.

В комплексе мероприятий по перевозке грузов особое место отводится этапу планирования как важнейшей задаче, занимающей особое место среди других этапов транспортировки. Современные транспортные технологии, дающие основательную экономию с ростом масштабов производства продукции и с углублением специализации, приводят к необходимости осуществлять перевозки сложных мест оборудования и готовых материалов непосредственно между потребителями в сжатые сроки. Если к тому же учесть географическую удаленность потребителей или предположим тот факт, что значительная часть заказчиков, ориентированных на проектные или инфраструктурные грузы, проживает в европейской части континента, а основные производственные мощности, а наряду с этим запасы ресурсов и сырья сосредоточены в азиатской части, то становится ясно, что масштабы предстоящей перевозки в плане расстояний могут быть весьма значительны. Естественно, что столь же значительны и затраты на перевозки. Уменьшение этих затрат хотя бы на несколько процентов приводит к экономии в миллионы долларов. Отсюда проистекает важность, местами даже научного, подхода не только к самому этапу планирования, но к проблемам перевозок в целом.

Для понятия специфики перевозки данных грузов необходимо углубиться в сам процесс организации перевозки проектных грузов. Отдельными примерами могут служить некоторые практики ведущих логистических компаний, которые возможно применить для планирования собственного процесса перевозки, учитывая опыт снижения затрат и сведения к минимуму риск срыва проекта на любой стадии его осуществления.

Успешная практика перевозки проектных грузов подразумевает также своего рода интеллектуальный подход, к процессу планирования, начиная непосредственно с предварительного этапа. Это может иметь прямое влияние на возникновение либо отсутствие дополнительных расходов на транспортировку, пошлины и налоги. Для этого требуется, как сказано выше, детальная проработка плана и качественное экспертное обоснование, потому что проектные грузы могут быть уникальными по своей сути и обладать высокой стоимостью. Поэтому в этом контексте обязательным условием является выбор перевозчика с подтвержденным успешным опытом в транспортировке проектных грузов.

Перевозка проектных грузов является сложным и длительным процессом и поэтому делится на несколько этапов:

- договор на проектирование;
- планирование перевозки и доставки грузов при использовании морского транспорта с учетом расстояний между пунктами отправления грузов и назначения;
- формулирование требований к проектным грузам с точки зрения способности технических средств и видов транспорта;
- подбор подходящей транспортной или логистической компании;
- планирование всех видов специального транспорта (включая тип судна) с учетом всех характеристик конкретного груза;
- планирование средств механизации и перегрузочного оборудования при обработке проектных грузов в порту;
- планирование оптимального маршрута следования;
- оформление необходимых документов, включая специальные разрешения;
- организация сопровождения груза для наземного маршрута.

Подбор соответствующего вида транспорта, также как и выбор оптимального маршрута для перевозки груза, производят транспортные или логистические компании, специализирующиеся на данного рода услугах. Кроме того, они отвечают за оформление различных бумаг и документов, необходимых для осуществления транспортировки крупногабаритных и тяжеловесных грузов. Организация перевозок проектных грузов требует детального экономического анализа и систематического экспертно-технического наблюдения за процессом с тем, чтобы оставаться в пределах заранее спрогнозированного бюджета и быть своевременно завершенными в соответствии с планом. При выборе стратегических решений, касающихся организации транспортного процесса, необходимо учитывать следующие основные факторы:

- возможности существующих транспортных и логистических компаний;
- технические возможности существующих транспортных средств, в том числе железнодорожных, водных и автомобильных, а также грузоподъемных машин и механизмов;

- возможности существующих автомобильных и железных дорог, водных путей с точки зрения их использования и реконструкции для использования в «экстремальных» условиях;
- требования к качеству осуществления перевозки;
- объемы и сроки перевозок;
- необходимости значительных капитальных затрат на работы по подготовке и осуществлению таких перевозок;
- необходимости проведения большого числа согласований практически на всех уровнях, включая государственные.

Как известно, каждая страна имеет комплекс различных законов, когда речь идет о соблюдении таможенных правил, ведения документации, налогообложения, пошлинах, изъятиях, лицензиях и многих других правовых аспектов. В этой связи также необходим тщательный анализ ситуации, а также взаимодействие и сотрудничество с представителями компаний и местными экспертами с опытом уже выполненных подобных грузовых проектов для согласования всех регулирующих аспектов, которые играют роль в процессе формирования бюджета предстоящей перевозки. Отдельно следует отметить также анализ по размерным и весовым ограничениям, после завершения которого рассматриваются несколько альтернативных путей осуществления транспортировки. Такая практика оценивания уже представляет важную информацию на стадии планирования перевозки, позволяя судить о возможных затратах в процессе перевозки груза, изучении оптимальных вариантов маршрутизации на основе расчетного размера груза и как результат может включать несколько вариантов для выбора наилучшего и экономически выгодного для окончательного исполнения, тем самым максимально оптимизируя сам проект на всех этапах перевозки.

Процесс осуществления перевозки проектных грузов должен быть столь же детализированным, как и этап предварительного планирования в полном соответствии со временем транзита, обязательствами по доставке и другими требованиями. Каждый этап перевозки проектных грузов должен строго соответствовать заранее запланированному графику, сохраняя отчетность, активную связь и прозрачность на всех стадиях выполнения такой операции.

Для более простого понимания можно рассмотреть краткую схему основных критериев для планирования перевозки:

- 1) так как предварительное планирование является ключевым аспектом в практике перевозки проектных грузов, то анализ рекомендаций по транспортировке и перемещению грузов может обеспечить избежание побочных расходов со стороны грузоотправителей, а также обеспечить определенности всех пунктов, исключение непредвиденных событий. На этапе предварительного планирования необходимо уделить достаточно времени для изучения и согласования всех данных предстоящей перевозки;



2) выбор логистической транспортной компании должен включать в себя наличие следующих факторов:

- качественное техническое обеспечение;
- определенные финансовые обязательства (риск и ответственность);
- подтвержденный международный опыт и знания местного законодательства в странах;
- гарантия активной двухсторонней связи, которая позволяет быстро реагировать на изменения / проблемы, возникающие в процессе перевозки;
- высокий уровень компетенции по работе с оборудованием и механизацией, местными перевозчиками, поставщиками оборудования и материалов, а также быстрым и гибким доступом к специализированным мощностям;
- точность, честность и прозрачность в ценообразовании предоставленных услуг;
- безупречное исполнение всех стадий проекта;

3) работа над планом (-ами) непредвиденных обстоятельств.

Непредвиденные обстоятельства и события могут привести к тому, что первоначальный план перевозки может не выполняться должным образом, и в ходе этих сценариев должен быть внедрен альтернативный план для сведения к минимуму потерь и решения всех сопутствующих проблем;

4) работа над постоянным усовершенствованием подразумевает наличие возможности для оптимизации процесса перевозки проектных грузов. Анализ и изучение результатов завершенных проектов и развитие потенциальных областей для повышения уровня эффективности может помочь будущим проектам улучшить показатели и результаты.

**Выводы.** В статье рассмотрены организационные аспекты перевозки проектных грузов на морском транспорте и применение методики организации и планирования таких перевозок. Тема актуальна, подтверждается наличием публикаций и развитием научно-технического прогресса в производстве уникальных проектных грузов, а также в конструктивных особенностях агрегатов, узлов и механизмов.

Организация перевозки проектных грузов включает в себя ряд основных операций: таких, как комплекс подготовительных мероприятий, организацию погрузочно-разгрузочных работ, перевозку и хранение. Так предварительное планирование является решающим начальным шагом, детальная проработка которого ведет к успешному осуществлению всей цепи последующих этапов перевозки.

Организационные аспекты перевозок проектных грузов предложены в виде определенных критериев планирования перевозки, где также акцентируется внимание к любого рода деталям на всех этапах осуществления самой перевозки.

Совершенствование процесса перевозок проектных (негабаритных) грузов заключается в обеспечении надлежащего уровня эффективности на этапе планирования, что особенно важно для выполнения всего цикла сложных по своей специфике перевозок проектных грузов и грузовых операций, которые как результат будут сопровождаться и отсутствием риска, и снижением затрат.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Поздняков В.А. *Логистический подход к организации перевозок крупногабаритных и тяжеловесных грузов автомобильным транспортом через железнодорожные переезды: Автореферат.* – М., 1999. – 17 с.
2. Чернышева Л.А. *Организация пропуска крупногабаритных и тяжеловесных транспортных средств по автомобильным дорогам // Автомобильные дороги.* – 2001. – № 4. – 64 с.
3. Амиров Т.К. *Перевозка крупногабаритных тяжеловесных грузов.* – М.: Экспресс-информация ЦБНТИМинавтотранса РСФСР. – Вып. 7. – 1985. – С. 41-47, 49-52.
4. Писаревский Г.Е. *Экономика перевозок крупногабаритных грузов на железнодорожном транспорте.* – М.: Интекст, 1998. – 83 с.
5. Павлов В.В., Троицкая Н.А. *Транспортировка крупногабаритных и тяжеловесных грузов.* – М.: Транспорт, 1995. – С. 7-17, 41-48.
6. Бенсон Д., Уайтхед Д. *Транспорт и доставка грузов: Пер. с англ. В.В.Космина.* – М.: Транспорт, 1990.
7. Данилов Д.И., Белецкий В.В. *Прогрессивные методы морских перевозок грузов.* – М.: Транспорт, 1966.
8. Смехов А.А., Малов А.Д., Островский А.М. *Грузоведение, сохранность и крепление грузов.* – М.: Транспорт, 1989. – 239 с.
9. Матовников А.Н. *Основания классификации уникальных негабаритных грузов на воздушном транспорте. Современные технологии в машиностроении: Сб. матер.научно-практ. конф.* – Пенза, 2002. – С. 144-146.
10. *Экономика судоходной практики и управления = Economics of shipping Practice and management / A.E. Brand.* – Second edition. – London: New York. – Chapman and Hall, 1988. – 360 p. – Text engl.
11. Жуков Е.И., Письменный М.Н. *Технология морских перевозок: Учебн. для учащихся мореходных училищ.* – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991.

12. *ИНКОТЕРМС 2000: Сб. «Международных правил толкования торговых терминов». «ПРИОР – 2002».*
13. *Снопков В.И. Перевозка грузов морем. – М.: Транспорт, 1986.*
14. *Национальное бюро статистики Китая, National Bureau of Statistics. – <http://www.stats.gov.cn>*
15. *Обзор морского транспорта конференции ООН по торговле и развитию (UNCTAD/ RMT/2015).*

*Стаття надійшла до редакції 05.12.2018*

**Рецензенти:**

доктор економічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту морського бізнесу Одеського національного морського університету **С.П. Онищенко**

кандидат технічних наук, доцент кафедри Експлуатація портів і технологія вантажних робіт Одеського національного морського університету **А.О. Мурад'ян**

УДК 517.977

**КОНЦЕПЦИЯ ПРОГРАММНОГО ДВИЖЕНИЯ  
В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ**

**В.И. Нешерет**

к.ф.-м.н., доцент

кафедры «Техническая кибернетика им. профессора Р.В. Меркта»  
*opti\_tk@ex.ua*

**Т.Д. Панченко**

старший преподаватель

кафедры «Техническая кибернетика им. профессора Р.В. Меркта»  
*tdp\_1103@ukr.net*

**В.И. Стародуб**

старший преподаватель

кафедры «Техническая кибернетика им. профессора Р.В. Меркта»  
*sval6236@gmail.com*

*Одесский национальный морской университет*

*Аннотация. Реализуется идеология программного движения. В системе дифференциальных уравнений движения объекта управление определяется таким образом, чтобы реализовать заданное программное движение.*

*Задача программного движения состоит в том, что для системы дифференциальных уравнений, описывающих движение объекта, задана программа в виде многообразия или траектории, а управление требуется выбирать таким образом, чтобы по возможности наилучшим образом реализовывать эту программу.*

*Пространственное движение летательного аппарата (ЛА) предлагается рассматривать в виде трёх последовательных уровней, трёх контуров управления: текущего движения центра масс (ЦМ), вращения вокруг ЦМ и динамики исполнительных органов.*

*В уравнениях движения ЦМ управления – это углы атаки  $\alpha$  и скольжения  $\beta$ , они определяются из решения задачи наведения, то есть попадания ЦМ в нужную область, движения по заданной траектории, выполнения определенных маневров и т.п. Рассчитанные предварительно или в процессе движения, интегрирования уравнений движения углы атаки и скольжения используются как программные  $\alpha_{пр}$ ,  $\beta_{пр}$  в задаче второго контура – углового движения относительно ЦМ.*

*В ней углы поворота рулей  $\delta_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ), необходимо определять из решения задачи стабилизации  $\alpha$ ,  $\beta$  относительно программных  $\alpha_{пр}$ ,  $\beta_{пр}$ . Найденные значения используются как программные для определения управлений в уравнениях динамики исполнительных органов.*

© Нешерет В.И., Панченко Т.Д., Стародуб В.И., 2018

*В уравнениях движения летательного аппарата рассматриваются три уровня, три контура управления. В каждом контуре решение верхнего контура используется как программа для определения управления. Для обеспечения этой программы предлагается использовать локально-оптимальные управления.*

**Ключевые слова:** *управление, стабилизация, программа, угловое движение, алгоритм, локально-оптимальное, функционал, дифференциальные уравнения, интегрирование, летательный аппарат, угол атаки, скольжения, рыскания, наклон траектории.*

### КОНЦЕПЦІЯ ПРОГРАМНОГО РУХУ В ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ

**В.І. Нещерет**

к.ф.-м.н., доцент

кафедри «Технічна кібернетика ім. професора Р.В. Меркта»

*optm\_tk@ex.ua*

**Т.Д. Панченко**

старший викладач

кафедри «Технічна кібернетика ім. професора Р.В. Меркта»

*tdp\_1103@ukr.net*

*Одеський національний морський університет*

**В.І. Стародуб**

старший викладач

кафедри «Технічна кібернетика ім. професора Р.В. Меркта»

*sval6236@gmail.com*

*Одеський національний морський університет*

**Анотація.** *Реалізована ідеологія програмного руху. В системі диференціальних рівнянь руху об'єкта управління визначається таким чином, щоб реалізувати заданий програмний рух.*

*Задача програмного руху полягає в тому, що для системи диференціальних рівнянь, що описують рух об'єкта, задана програма у вигляді різноманіття або траєкторії, а управління потрібно вибирати таким чином, щоб по можливості найкращим чином реалізовувати цю програму.*

*Просторовий рух літального апарату (ЛА) пропонується розглядати у вигляді трьох послідовних рівнів, трьох контурів управління: поточного руху центру мас (ЦМ), обертання навколо ЦМ і динаміки виконавчих органів*

*У рівняннях руху ЦМ управління – це кути атаки  $\alpha$  і ковзання  $\beta$ , вони визначаються з рішення задачі наведення, тобто попадання ЦМ в потрібну область, руху по заданій траєкторії, виконання певних маневрів і т.п. Розраховані попередньо або в процесі руху, інтегрування рівнянь*

руху кути атаки і ковзання використовуються як програмні  $\alpha_{пр}$ ,  $\beta_{пр}$  в завданні другого контуру – кутового руху щодо ЦМ.

У ній кути повороту керма  $\delta_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ), необхідно визначати завдання стабілізації  $\alpha$ ,  $\beta$  щодо програмних  $\alpha_{пр}$ ,  $\beta_{пр}$ . Знайдені значення використовуються як програмні для визначення управлінь в рівняннях динаміки виконавчих органів.

У рівняннях руху літального апарату розглядаються три рівні, три контури управління. У кожному контурі рішення верхнього контуру використовується як програма для визначення управління. Для забезпечення цієї програми пропонується використовувати локально-оптимальні управління.

**Ключові слова:** управління, стабілізація, програма, кутовий рух, алгоритм, локально-оптимальне, функціонал, диференціальні рівняння, інтегрування, літальний апарат, кут атаки, ковзання, рискання, нахил траєкторії.

UDC 517.977

## CONCEPTION OF PROGRAMMATIC MOTION IN TASK OF CONTROL BY AIRCRAFT

V.I. Necheret

Ph. D. Associate Professor

of department of «Technical Cybernetics named of the Professor R.V. Merkt»  
*onmu\_tk@ex.ua*

T.D. Panchenko

senior lecturer

of the department «Technical Cybernetics named of the Professor R.V. Merkt»  
*tdp\_1103@ukr.net*

V.I. Starodub

senior lecturer

of the department «Technical Cybernetics named of the Professor R.V. Merkt»  
*sval6236@gmail.com*

*Odessa National Maritime University*

**Annotation.** *The ideology of the program movement is being realized. In the system of differential equations of motion of an object, control is defined in such a way as to realize a given program motion.*

*The task of programmed motion is that for a system of differential equations describing the movement of an object, a program is specified in the form of a manifold or a trajectory, and the control must be chosen in such a way that, as far as possible, to realize this program in the best possible way.*

*The spatial motion of the aircraft (LA) is proposed to be considered in the form of three consecutive levels, three control loops: the current movement of the center of mass (CM), rotation around the CM, and the dynamics of the executive bodies.*

*In the equations of motion, the CM of control is the angles of attack  $\alpha$  and slip  $\beta$ , they are determined from the solution of the aiming problem, that is, the entry of the CM into the desired region, the motion along a given trajectory, the performance of certain maneuvers, and so on. The angles of attack and slip, calculated beforehand or in the course of motion, of integrating the equations of motion are used as program  $\alpha_{pr}$ ,  $\beta_{pr}$  in the problem of the second contour—the angular motion relative to the CM.*

*In it the steering angles  $\delta_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) must be determined from the solution of the stabilization problem  $\alpha$ ,  $\beta$  with respect to the program  $\alpha_{pr}$ ,  $\beta_{pr}$ . The values found are used as software to determine the controls in the equations of the dynamics of the executive bodies.*

*To solve these problems, classical methods of optimal control are not applicable, since they use an integral criterion for a given time of motion. In this paper, we propose to use the methods of locally optimal control developed by the authors for the tasks of program motion.*

*The method of applying locally optimal controls is that a criterion is used which, at each moment of time, in a certain way characterizes the state of the object, described by a system of differential equations. Control from the permissible region must be chosen so that the local functional decreases as much as possible on the trajectories of the system. To do this, it is necessary to minimize its derivative due to the system of differential equations at each instant of time, practically at each step of the system integration. An algorithm for determining such controls for the problem is constructed.*

**Keywords:** *control, stabilizing, program, angular motion, algorithm, locally-optimal, functional, differential equations, integration, aircraft, corner of attack, skidding, prowling, inclination of trajectory.*

**Постановка проблеми.** Сложность задач оптимального управления летательным аппаратом состоит в том, что классические математические методы оптимального управления предполагают рассмотрение задачи на заданном конечном промежутке времени. В качестве критерия используется, как правило, интегральный функционал и требуется решать краевые задачи. Необходимо многократно интегрировать исходную и сопряжённую системы дифференциальных уравнений. Управление получается в виде функции, справедливой для заданного конкретного промежутка времени [1-3].

Но для летательного аппарата более естественна постановка задачи стабилизации, так чтобы решение было получено в форме синтеза, когда управление является функцией текущего состояния объекта. В такой постановке данная проблема изучается в данной работе. Рассматривается возможность совместного использования идеологии программного движения [4] и локально-оптимальных управлений [5-8]. С их помощью

могут быть построены эффективные алгоритмы вычисления управления в функции от фазовых переменных системы.

**Обзор литературы.** В общем виде идея локально-оптимальных управлений заключается в том, что используется критерий, который в каждый момент времени определённым образом характеризует отклонение от программы для объекта, описываемого системой дифференциальных уравнений. Управление требуется выбирать так, чтобы такой локальный функционал максимально уменьшался на траекториях системы. Для этого необходимо минимизировать его производную в силу системы дифференциальных уравнений [5].

При реализации таких идей возникает ряд проблем – выбор структуры локальных функционалов, построение производной в виде явных функций от управления в сложных системах, решение задач их минимизации в процессе интегрирования, учёт ограничений для фазовых переменных и управлений, учёт особенностей области допустимых управлений и, наконец, исследование динамики системы с таким управлением.

В наших работах [6,7] исследованы некоторые из этих вопросов и получены конструктивные результаты для линейных систем. В статье [8] рассматривается общий подход к задаче управления программным движением в нелинейной системе. В [9] идеология локально-оптимального управления была успешно реализована для сложной технической проблемы – стабилизации послеаварийных переходных процессов в электроэнергетических системах. Эти процессы описываются нелинейными дифференциальными уравнениями и функциональными связями. Расчёты показали хорошее демпфирование послеаварийных возмущений взаимных углов генераторов нескольких станций.

**Основной материал исследования.** В задаче пространственного движения летательного аппарата (ЛА) [2,3] можно выделить три уровня, три контура управления: текущее движение центра масс (ЦМ), вращение вокруг ЦМ, и динамику исполнительных органов.

Движение ЦМ в общей форме можно описать системой уравнений

$$\dot{X} = f_i(X, \alpha, \beta), \quad X = \{x, y, z, V, \theta, \Psi\}, \quad (1)$$

где  $X$  – вектор состояния с компонентами;

$x$  – дальность;

$y$  – высота;

$z$  – боковое отклонение;

$V$  – скорость;

$\theta$  – угол наклона траектории;

$\Psi$  – угол рыскания.

Углы атаки  $\alpha$  и скольжения  $\beta$  можно считать для этого контура управлением и определять из решения задачи наведения, то есть попа-



дания в нужную область, движения по заданной траектории, выполнения определенных маневров и т.п. Рассчитанные предварительно или в процессе движения (интегрирования уравнений движения) углы атаки и скольжения будем использовать как программные  $\alpha_{np}$ ,  $\beta_{np}$  в задаче для углового движения относительно ЦМ

$$\dot{Y} = f_{II}(X, Y, \delta), \quad Y = \{\alpha, \beta, \omega_x, \omega_y, \omega_z\}. \quad (2)$$

Это уравнения второго контура. В них углы поворота рулей  $\delta_i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ , необходимо определять из решения задачи стабилизации  $\alpha$ ,  $\beta$  относительно программных  $\alpha_{np}$ ,  $\beta_{np}$ .

В свою очередь динамика углов поворота рулей описывается уравнениями

$$\dot{Z} = f_{III}(Z, u); \quad Z_i = \{\delta_i, \dot{\delta}_i\}; \quad i=1, 2, 4. \quad (3)$$

В этой системе уравнений третьего контура управления  $u = \{u1, u2, u3, u4\}$  нужно выбирать так, чтобы стабилизировать  $\delta_i$ ,  $i = 1, 2, 4$ , относительно их значений, которые найдены в задаче для второго контура и являются здесь программными. При этом должны выполняться ограничения на значения и скорость углов поворота рулей

$$|\delta_i| \leq \bar{\delta}_i, \quad |\dot{\delta}_i| \leq \Delta i, \quad i=1,2,..4. \quad (4)$$

Таким образом, управление  $u = \{u1, u2, u3, u4\}$  нужно рассчитывать на основе текущей информации о состоянии системы (1)-(3), т.е. в форме обратной связи.

В задаче управления для (2) решаются две группы вопросов: определение опорных (балансируемых) значений  $\delta^{on}$ , соответствующих программным  $\alpha_{np}$ ,  $\beta_{np}$ , а также расчет составляющей  $\delta^s$

$$\delta = \delta^{on} + \delta^s, \quad (5)$$

которая осуществляет стабилизацию отклонений от этой программы.

Сложность первого вопроса в том, что необходимо в каждый момент времени (или на каждом шаге интегрирования) решать три трансцендентных уравнения с 4 неизвестными  $\delta_i^{on}$ . Здесь возможны различные соображения и подходы. В простейшем варианте построен алгоритм вычисления  $\delta^{on}$  с минимальной нормой.

$$\sum_{i=1}^4 (\delta_i^{on})^2 \quad (6)$$

После определения  $\delta^{on}$  формулируем задачу стабилизации. Для этого нужно предварительно определить по  $\delta^{on}$  аналогичное ему опорное значение  $u^{on}$  из условия равновесия (3), записать уравнение (2) в отклонениях от отклонениях от  $\alpha_{np}$ ,  $\beta_{np}$ , а (3) в отклонениях от  $\delta^{on}$ .

Такая задача стабилизации для уравнений (2), (3) в случае плоского продольного движения ( $\beta_{np} = \beta_{np} = 0$ ) при линеаризации относительно программы без ограничений решается довольно просто с использованием, например, модального управления. Учет фазовых ограничений (4) делает ее значительно более сложной, особенно в общем случае пространственного движения для системы уравнений (2), (3).

Поэтому используем концепцию раздельного синтеза. Аналогично тому, как задачу наведения решают для ЦМ в (1) и найденные  $\alpha$ ,  $\beta$ , обеспечивают с помощью углового движения, будем сначала решать задачу программного движения для уравнений (2) выбором «управления»  $\delta$ , а найденные значения  $\delta$  используем как программу для уравнений (3).

Обозначим

$$x_1 = \alpha - \alpha_{np}, \quad x_2 = \beta - \beta_{np}, \quad x_3 = \omega_x, \quad x_4 = \omega_y, \quad x_5 = \omega_z.$$

Запишем уравнение (2) в этих переменных в такой форме

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \phi(x_3, x_4) \\ \dot{x}_3 &= f_1(x) + y_1(\delta^s) \\ \dot{x}_4 &= f_2(x) + y_1(\delta^s) \\ \dot{x}_5 &= f_3(x) + y_1(\delta^s) \end{aligned} \quad (7)$$

Линеаризуем эти уравнения по управлениям  $\delta^s$ . Тогда управляющие моменты  $y_i(\delta)$  можно записать в виде

$$y_i = \sum_{j=1}^4 B_{ij} \delta_j^s, \quad i = 1, 2, 3 \quad (8)$$

Коэффициенты  $B_{ij}$  матрицы  $B$  рассчитываются на каждом шаге интегрирования по текущим значениям фазовых переменных и программы при  $\delta = \delta^{on}$ .

Для стабилизации системы (7) использован наш опыт исследования локально-оптимальной стабилизации программных движений для дифференциальных уравнений [5-8] и применения локальных функционалов для решения задач стабилизации послеаварийных переходных процессов в сложных электроэнергетических системах [9].

Применительно к данной задаче рассмотрим локальный функционал такого вида

$$\hat{O} = \hat{O}_* + \int_0^t \sum_{i=1}^4 \zeta_i (\delta^s)^2 dt \quad (9)$$

$$\hat{O}_* = (\xi_1 x_1 + x_5)^2 + \eta (\xi_2 x_2 + \phi)^2 dt$$

Здесь  $\xi_1, \xi_2, \eta, \zeta_i$   $i = 1, 2, 4$  – положительные весовые коэффициенты. Запишем его производную в силу системы (7).

$$\hat{O} = \hat{O}_* + \sum_{i=1}^4 \zeta_i (\delta_i^s)^2 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \hat{O}_* = & 2(\xi_1 x_1 + x_5)(\xi_1 x_2 + f_3(x) + y_3(\delta)) + \\ & + 2\eta(\xi_2 x_5 + \phi)(\xi_2 \phi + \frac{\partial \phi}{\partial x_3}(f_1 + y_1) + \frac{\partial \phi}{\partial x_4}(f_2 + y_2)). \end{aligned} \quad (11)$$

Она имеет наименьшее значение при  $\delta_j^s$ , определяемых по условию

$$\partial \hat{O}(x, \delta^s) / \partial \delta^s = 0 \quad (12)$$

Отсюда получаем

$$\delta_j^s = -\frac{1}{\zeta_j} ((\xi_1 x_1 + x_5) B_{3j} + \eta (\xi_2 x_2 + \phi) (\frac{\partial \phi}{\partial x_3} B_{1j} + \frac{\partial \phi}{\partial x_4} B_{2j})).$$

Видно, что каждое управление  $\delta_j^s$  оказывает непосредственное воздействие одновременно на углы  $\alpha$  и  $\beta$ . Попытаемся в какой-то мере разделить его, выделив влияние управления по каждой из угловых скоростей в (7). В определённой степени это уже сделано введением переменных  $y_i(\delta)$ ,  $i=1, 2, 3$ . Рассмотрим их как некое управление, которое надо определить. Для этого введём их в локальный функционал аналогично (10).

$$\hat{O} = \hat{O}_* + \int_0^t \sum_{i=1}^3 \rho_i y_i^2 dt \quad (13)$$

Минимальное значение его производной определяется, как и ранее, и даёт такие значения «управлений»

$$\begin{aligned}y_1 &= -\frac{\eta}{\rho_1} \frac{\partial \varphi}{\partial x_3} (\xi_2 x_2 + \varphi(x)) \\y_2 &= -\frac{\eta}{\rho_2} \frac{\partial \varphi}{\partial x_4} (\xi_2 x_2 + \varphi(x)) \\y_3 &= -\frac{1}{\rho_3} (\xi_1 x_1 + x_3)\end{aligned}\quad (14)$$

Здесь уже более чётко выделено воздействие  $u_3$  на изменение угла тангажа (через угловую скорость  $x_3 = \omega_z$ ) и, следовательно, угла атаки  $\alpha$ .

Теперь необходимо найти отклонения рулей  $\delta_i^s$ . Для этого надо рассмотреть (8) как уравнения относительно  $\delta_i^s$ ,  $i=1, \dots, 4$ , где свободные члены определены выражениями (13). Запишем их так:

$$B \delta^s = y \quad (15)$$

Здесь  $B = \{B_{ij}\}$ ,  $y = \{y_i\}$ ,  $i=1, \dots, 3$ ,  $j=1, \dots, 4$ . Это уравнение имеет в общем случае неединственное решение. Поэтому выделим то, которое обладает наименьшей нормой. Для этого запишем решение (15) в виде  $\delta^s = B^+ y$  с помощью псевдообратной матрицы  $B^+$ . Минимум нормы вектора  $\delta^s$  будет обеспечен, если вычислять эту матрицу по формуле

$$B^+ = B^T (B B^T)^{-1} \quad (16)$$

Здесь  $B^T$  транспонированная, а  $(B B^T)^{-1}$  обратная матрица.

В (14)  $1/\rho_i$  играют роль коэффициентов усиления для управляющих моментов. С другой стороны, коэффициенты  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  задают соотношение между величиной и скоростью изменения углов атаки и скольжения. Совместно с  $\rho_i$  они формируют то изменение в частоте колебаний, которое вносит «управление»  $u$ . Эти соображения определяют выбор весовых коэффициентов в расчётах.

Были проведены расчеты на модели ЛА специального вида. На каждом шагу численного интегрирования системы дифференциальных уравнений использовались аэродинамические характеристики из базы данных, полученной по результатам экспериментальных продувок.

Результаты моделирования показали хорошее отслеживание программы в различных режимах.

**Выводы.** На основе идеологии программного движения построен алгоритм поуровневого решения задачи управления летательным аппаратом. Такой подход реализуем при использовании управлений в форме обратной связи. Эту возможность даёт применение локально-оптимальных управлений. Предложенная процедура раздельного синтеза и метод локальных функционалов позволили построить эффективный алгоритм локально-оптимальной стабилизации ЛА.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Летов А.М. Динамика полёта и управления. – М.: Наука, 1969. – 359 с.
2. Красовский А.А. Системы автоматического управления полётом и их аналитическое конструирование. – М.: Наука, 1973. – 558 с.
3. Ефремов А.В., Захарченко В.Ф. и др. Динамика полёта. – М.: Машиностроение-Полёт, 2017. – 776 с.
4. Галиуллин А.С., Мухаметзянов И.А., Мухарлямов Р.Г., Фурасов В.Д. Построение систем программного движения. – М.: Наука, 1971. – 352 с.
5. Нещерет В.И., Ружников Г.М., Заболонина Н.А. Задачи управления с локальными функционалами // Асимптотические методы. Задачи и модели механики. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1987. – С. 190-215.
6. Нещерет В.И. Стабилизация неинвариантного многообразия в скользящем режиме при использовании локально-оптимального управления // Вестник Одесского национального морского университета. – Вып. 18. – Одесса, 2005. – С. 198-206.
7. Нещерет В.И. Об инвариантных многообразиях в задаче локально-оптимального управления // Вестник Одесского национального морского университета. – Одесса, 2013. – Вып. 2 (38). – С. 171-182.
8. Нещерет В.И., Стародуб В.И. Локально-оптимальное управление в задаче программного движения // Международное периодическое научное издание: Сб. научн. трудов Sworld. – Иваново: Научный мир. – Вып. № 2 (39). – 2015. – С. 68-72.
9. Нещерет В.И. Проблемы стабилизации послеаварийных режимов энергетических систем, использование локальных функционалов // Проблемы техники. – Вып. 1. – Одесса, 2002. – С. 149-156.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2018

#### Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, віце-президент Асоціації українського сейсмостійкого будівництва **К.В. Єгунов**

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Технічна кібернетика ім. професора Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету **І.Г. Бугасва**

УДК 502.1(510)

## НОВЫЙ ПУТЬ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ КИТАЯ – СОЗДАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ

С.В. Руденко  
д.т.н., профессор, ректор  
Т.А. Ковтун  
к.т.н., доцент, докторант

*Одесский национальный морской университет*

**Аннотация.** *Принятие новой экологической концепции и шага на пути ее реализации для Китая являются насущно необходимыми по причине огромных масштабов негативных последствий индустриализации и бурного развития китайской экономики на протяжении последних лет. В условиях экстенсивного роста народного хозяйства и увеличения техногенных угроз Китай стал перед цивилизационным выбором пути развития государства и уже начал реализовывать новую философскую концепцию под названием «экологическая цивилизация». В статье отражены главные экологические проблемы современного Китая, причины возникновения и пути решения; выделены основные аспекты и направления создания «экологической цивилизации» в стране.*

**Ключевые слова:** *экологическая цивилизация, «Прекрасный Китай», экологическое загрязнение атмосферы, водных ресурсов, почвы, экологическая политика.*

## НОВИЙ ШЛЯХ ВИРШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ КИТАЮ – СТВОРЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЦИВІЛІЗАЦІЇ

С.В. Руденко  
д.т.н., професор, ректор  
Т.А. Ковтун  
к.т.н., доцент, докторант

*Одеський національний морський університет*

**Анотація.** *Ухвалення нової екологічної концепції і кроки на шляху її реалізації для Китаю є конче необхідними через величезні масштаби негативних наслідків індустріалізації і активного розвитку китайської економіки протягом останніх років. В умовах екстенсивного зростання народного господарства і збільшення техногенних загроз Китай став перед цивілізаційним вибором шляху розвитку держави і вже почав реалізовувати нову філософську концепцію під назвою «екологічна цивілізація».*

*У статті відображені головні екологічні проблеми сучасного Китаю, причини виникнення та шляхи вирішення; виділені основні аспекти та напрями створення «екологічної цивілізації» в країні.*

**Ключові слова:** екологічна цивілізація, «Прекрасний Китай», екологічне забруднення атмосфери, водних ресурсів, ґрунту, екологічна політика.

UDC 502.1(510)

## NEW WAY OF SOLVING CHINESE ENVIRONMENTAL PROBLEMS - CREATION OF ECOLOGICAL CIVILIZATION

S.V. Rudenko

Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector

T.A. Kovtun

Ph.D, associate Professor, doctoral candidate

*Odessa National Maritime University*

**Abstract.** *The initiation of a new environmental concept and steps towards its implementation for China are urgently needed because of the industrialization and the rapid development of the Chinese economy negative consequences have acquired enormous scale over the past few years. In the conditions of the national economy extensive growth and increase in man-made threats, China has faced a civilizational choice of the state development way and has already begun to implement a new philosophical concept called «ecological civilization». The article reflects the main environmental problems of modern China, the causes and solutions; the main aspects and directions of «ecological civilization» creation in the country are distinguished.*

**Keywords:** *ecological civilization, «Beautiful China», environmental pollution of the atmosphere, water resources, soil, ecological policy.*

*«Китай наряду с реализацией целей экономического развития больше всего заботит обеспечение 1,3-миллиардного населения чистой питьевой водой, чистым воздухом, безопасными продуктами питания и красотой натуральной природы».*

*Чжоу Шэнсянь,*

*министр охраны окружающей среды КНР*

**Постановка проблеми.** Китай – бурно розвиваюча країна з найбільшим кількістю населення на Землі. І якщо в розвинутих країнах екологічні проблеми проявлялись поступово в процесі поступального економічного росту і вирішувалися на протязі тривалого періоду часу, то в Китаї, завдяки активному розвитку економіки на протязі останніх десятиліть, проблеми охорони навколишнього середовища виникли не так давно, але стали дуже гостро і вимагають негайного прийняття заходів для їх вирішення.

Прежние стимулы роста китайской экономики – инвестиции в экстенсивное развитие промышленности, огромный объем экспорта относительно недорогих товаров и привлечение рабочей силы низкого уровня квалификации себя исчерпали. Руководство КНР предлагает новые резервы экономического роста такие, как расширение внутреннего рынка за счет роста покупательной способности населения, благодаря формированию в Китае среднего класса; развитие сферы услуг и развитие экологически чистых отраслей промышленности. Традиционные экономические показатели, а, именно: цены на уголь, потребление электроэнергии, объем грузооборота, рост которых ведет к дальнейшему загрязнению окружающей среды, постепенно теряют свое значение для развития экономики. Остро встает вопрос о формировании системы приоритетов экономического развития Китая, учитывающей реалии сегодняшнего дня, в том числе и потребность сохранности природных ресурсов страны для будущих поколений.

**Целью статьи** является выявление главных экологических проблем современного Китая, причин их возникновения и путей решения, обоснование основных аспектов нового пути развития Китая – создания «экологической цивилизации».

**Изложение основного материала.** Идея построения экологической цивилизации впервые была озвучена на XVII съезде Коммунистической партии Китая (2008 год). А уже на XVIII съезде (2012 год) пункт построения экологической цивилизации был включен в устав Коммунистической партии КНР. На съезде был представлен стратегический план развития «Прекрасного Китая», включающий пункты экономического, политического, культурного, социального строительства и создание экологической цивилизации. В октябре 2017 года строительство «Прекрасного Китая» было внесено в доклад XIX съезда Коммунистической партии Китая. В марте 2018 года концепция построения экологической цивилизации была внесена в Конституцию КНР, представляя собой амбициозную задачу, ставшую частью идеологии китайского народа [1].

Термин «экологическая цивилизация» очень гармоничен в контексте китайской духовной культуры, поскольку китайские традиционные ценности – это целая сокровищница, которая может обеспечить сильную моральную поддержку идее строительства экологической цивилизации. Термин «цивилизация» в контексте китайской философии имеет этическое содержание, он отражает идею единства и гармонии человека с природой, с окружающим его миром. В китайском языке «цивилизация» переводится как «文明» (вэньмин) и этимологически состоит из двух иероглифов: «文» (вэнь) – культура и «明» (мин) – свет, знание, понимание [2].



Путь – дао великого учения состоит в высветлении светлой благодати – дэ, породнении с народом и остановке на совершенном добре [3]. Таким образом, можно утверждать, что создание экологической цивилизации в контексте китайской культуры состоит в создании новой концепции гармоничного развития общества в единстве с природой.

Идея создания экологически чистого пространства существования для китайского народа не нова. Так, традиционное китайское мировоззрение говорит о единстве человека и природы. «Небо и земля – одно и то же» (天地一体), «У всех вещей одно начало» (万物之一原), «Небо и человек едины» (天人合一) – подобные положения были выдвинуты еще во II в. до н.э. и являются отправной точкой размышлений об общности и единстве мира социального и мира природы. А в «Хань Фэйцзы», например, предусматривается наказание в виде отрезания пальца тому, кто выбрасывает мусор в местах общественного пользования. Сегодня все больше и больше людей осознают важную роль традиции и религии в процессе движения к экологической цивилизации. Китайские религии (даосизм, конфуцианство и буддизм) могут стать мощным оружием в деле предотвращения экологического кризиса и построения мирного гармоничного общества [4].

И сейчас, спустя тысячи лет, решение проблемы защиты окружающей среды и создания благоприятных условий для проживания китайского населения как никогда актуальны. Выступая с докладом на XIX съезде Коммунистической партии Китая, Си Цзиньпин отметил необходимость форсировать реформу системы экологической цивилизации, построить «Прекрасный Китай». Китайский лидер сказал, что «человек и природа составляют единое жизненное сообщество, поэтому человечество должно уважать природу, приспосабливаться к ней и ее охранять». Он также отметил, что «модернизация, к которой мы стремимся, должна обеспечивать гармоничную синергию человека и природы, должна не только создавать больше материальных и духовных благ для удовлетворения растущих потребностей народа в прекрасной жизни, но и предоставлять больше качественной экологической продукции, чтобы удовлетворять растущие потребности народа в здоровой экологии. Необходимо уделять приоритетное внимание экономии ресурсов, охране и естественному восстановлению окружающей среды, формировать такую пространственную архитектуру, такую производственную структуру, такие способы производства и такой уклад жизни, которые способны экономить ресурсы и защищать окружающую среду, чтобы вернуть природе присущие ей покой, гармонию и красоту» [5].

Реальность экологической обстановки в Китае, сложившейся за последние десятилетия, неутешительна. Проблему загрязнения окружающей среды можно условно разделить на загрязнение воздуха, воды и земли.

**Загрязнение атмосферы.** Критическая ситуация сложилась в Китае с загрязнением воздуха. Китай лидирует по показателю абсолютной смертности людей от загрязнения воздуха. Начиная с 90-х годов XX столетия смог постоянно появлялся в стране. Поначалу его масштабы, степень загрязнения и длительность были незначительны. Но с 2010 года ситуация стала обостряться и в 2013 году достигла масштабов, когда смог охватил почти половину территории и нанес прямой экономический ущерб китайскому обществу в размере 23 млрд. юаней [6]. По свидетельствам ученых, смог в Китае напоминает последствия ядерной зимы. Из-за сильнейшего засорения атмосферы существенно снижается трансфер тепла, людей в буквальном смысле убивает воздух, которым они дышат, видимость снижается до нескольких метров, что провоцирует аварии с серьезными последствиями для жизни людей и функционирования инфраструктуры [7].

Критическая ситуация заставила китайское общество осознать актуальность борьбы со смогом. В 2013 году китайским правительством была выдвинута «Программа действий по защите атмосферного воздуха от загрязнения», в которой были поставлены конкретные задачи и предложены меры по борьбе со смогом. Главное внимание уделяется крупным городам и районам, где часто возникает смог и пыль, а упор делается на контроль за тонкими твердыми частицами (PM<sub>2,5</sub>) и вдыхаемыми твердыми частицами (PM<sub>10</sub>), которые образуются в процессе сжигания угля без предварительной очистки, содержатся в выхлопных газах и дыме от промышленных и бытовых производств, отопления жилых и нежилых помещений. Ключевыми звеньями уменьшения загрязнения воздуха являются: изменение промышленной структуры, повышение энергоэффективности производства, уменьшение выбросов выхлопных газов транспортными средствами, изменение способа отопления жилых и нежилых помещений (табл. 1).

В ноябре 2015 года на «Парижском конгрессе по противодействию изменению климата» председатель КНР Си Цзиньпин констатировал, что «к 2030 году в Китае выбросы углекислого газа на единицу ВВП снизятся на 60-65 % по сравнению с аналогичным показателем 2005 года; доля неископаемых энергоносителей (альтернативных источников энергии) в потреблении первичных энергоресурсов увеличится примерно на 20 %; лесной фонд увеличится на 4,5 млрд. кубометров по сравнению с аналогичным показателем 2005 года и т.д. Если рассматривать решение проблемы в ближайшей перспективе, то в октябре 2016 года китайское правительство обнародовало «Рабочую программу контроля за выбросами парниковых газов в рамках 13-ой пятилетки», в которой отмечено, что к 2020 году выбросы углекислого газа на единицу ВВП снизятся на 18 % по сравнению с аналогичным показателем 2015 года, совокупный выброс углерода будет взят под строгий контроль» [8].

В последнее время ситуация начала улучшаться. Согласно материалам, опубликованным Министерством охраны окружающей среды Китая, в 2017 году данные мониторинга РМ 2,5 снизились на треть по сравнению с аналогичным показателем 5-летней давности [6]. Все это обусловлено неустанными усилиями китайского правительства по защите атмосферного воздуха от загрязнения.

*Таблица 1*

*Основные аспекты битвы за «голубое небо» в Китае*

Причина загрязнения воздуха, появления смога	Меры противодействия загрязнению воздуха, появлению смога
Отсталая топливно-энергетическая структура	Изменение способа отопления в пользу чистых энергоносителей (снижение угольной составляющей). Внедрение энергосберегающих технологий при отоплении жилых и нежилых помещений;
Чрезмерные промышленные выбросы	Урегулирование производственной структуры и оптимизация размещения промышленности. Прекращение или ограничение производства на загрязняющих предприятиях. Внедрение энергосберегающих технологий в производстве. Введение жестких норм контроля вредных выбросов на производстве. Изменение критериев оценки эффективности хозяйствования, введение экологических показателей оценки. Введение пожизненной ответственности за нанесение экологического ущерба. Создание национальной системы торговли квотами на выбросы парниковых газов.
Выхлопные газы автотранспорта	– Введение государственного стандарта выброса выхлопных газов V (экологического стандарта, регулирующего содержание вредных веществ в выхлопных газах). – Ускорение распространения автомобилей, работающих на новых источниках энергии. – Использование экологически чистых видов транспорта.
Песчаные бури	Увеличение лесного фонда и количества болот. Расширение экологически обоснованного научного градостроительства и освоение новых земель. Сокращение количества пастбищ.

**Источник:** Собственная разработка авторов

Китайские ученые отмечают, что «хотя причины возникновения смога представляются разными, в конечном счете, нерациональность про-

изводственной структуры приводит к чрезмерному выбросу загрязняющих веществ. Лишь снижение совокупного выброса загрязняющих веществ поможет коренным образом избавиться от смога». Предлагается создание нового механизма совместного участия правительства, предприятий и народных масс, реализуются региональная совместная профилактика и контроль, осуществляются мероприятия по предупреждению загрязнения воздуха [6].

**Загрязнение водных ресурсов.** Загрязнение вод является после загрязнения атмосферы самой серьезной экологической проблемой Китая. По объему возобновляемых гидроресурсов Китай сегодня занимает пятое место в мире. Абсолютное значение объема поверхностного стока составляет 2700 млрд. м<sup>3</sup>/год. Не смотря на это, водообеспеченность на душу населения составляет лишь 2500 м<sup>3</sup>, что равняется 1/14 мирового показателя [9].

Из-за того, что значительную часть страны занимают малопригодные для жизни местности, 90 % населения сконцентрировано на 10 % территории страны. Это приводит к негативным последствиям для поверхностных и подземных водоемов. На сегодняшний день загрязнено более 70 % рек и водоемов и до 90 % подземных вод Китая. Вода в некоторых случаях оказывается настолько токсичной, что непригодна не то что для питья, но даже для орошения земель и разведения рыбы. Основными источниками заражения являются: промышленные и коммунальные стоки, стоки сельхозугодий, нефтепродукты, твердые бытовые отходы (табл. 2).

Таблица 2

*Основные аспекты битвы за «чистую воду» в Китае*

Причина загрязнения водных ресурсов	Меры противодействия загрязнению водных ресурсов
Неочищенные промышленные стоки	Ужесточение мер контроля промышленных стоков. Внедрение современных технологий производства, снижающих потребление и загрязнение водных ресурсов.
Неочищенные коммунальные стоки	Организация централизованной системы канализации в населенных пунктах.
Стоки сельскохозяйственных угодий	Внедрение современных экологически чистых технологий удобрения сельскохозяйственных культур.
Сбросы морских судов (дампинг)	Ужесточение мер контроля и ответственности за осуществление сбросов

**Источник:** Собственная разработка авторов

Загрязнение водоемов Китая привело к дефициту питьевой воды для населения страны. Годовой дефицит воды в среднем составляет

29 млрд. м<sup>3</sup> и по прогнозам достигнет 50 млрд. м<sup>3</sup> к 2020 году. По мнению ряда специалистов, водные ресурсы Китая достаточны для обеспечения не более 650 млн. человек [9].

Сокращение водных ресурсов и загрязнение сточных вод представляют большую опасность и ведут к трагическим последствиям для природного баланса. Поэтому руководством Китая четко поставлена задача по интенсификации работы по предотвращению и устранению загрязнения воды, комплексному упорядочению экосистемы водных бассейнов и прибрежных морских акваторий.

**Загрязнение почвы.** Еще одна серьезная проблема Китая заключается в состоянии почвы. Чтобы эффективно решить продовольственную проблему, в прошлом проводилась неконтролируемая распашка земель под посевы, а также хаотичный выпас скота. В результате, с одной стороны, страна смогла себя прокормить, но с другой – была спровоцирована проблема загрязнения почвенных покровов, непродуманные действия привели к деградации почв в стране, опустыниванию, засолению и расширению ареалов стихийных бедствий. Проблему усугубила массовая вырубка лесов. Во многих местах верхний слой почвы практически уничтожен, как следствие – эрозия, разрыхление почвы и образование огромного количества песка, что привело поглощению земель пустыней и учащению песчаных бурь. Помимо этого, существуют проблемы урбанизации и использования земли для разработки месторождений, лесного хозяйства и аквакультур на фоне сокращения площади пахотных земель (табл. 3).

*Таблица 3*

*Основные аспекты битвы за «чистую землю» в Китае*

Причина загрязнения и деградации земель	Меры противодействия загрязнению и деградации земель
Промышленные отходы	Ужесточение мер контроля выброса промышленных отходов. Применение современных экологически чистых технологий и рециклинга.
Химические удобрения сельхозземель	Уменьшение объемов использования пестицидов и минеральных удобрений.
Засоление почв	Улучшение управления системами орошения в засушливых районах.
Неконтролируемая распашка земель	Переход с экстенсивного на интенсивное сельское хозяйство.
Массовый выпас скота	Восстановление территорий пастбищ.
Массовая вырубка лесов	Жесткий контроль за вырубкой лесов. Восстановление лесного покрова.

**Источник:** Собственная разработка авторов

Непродуманные действия создают опасность для пищевых ресурсов Китая, поскольку в то время как площадь пахотных земель сократилась, население Китая и потребление пищи на душу населения возросли, а площадь земель, потенциально пригодных для обработки, ограничена. Количество пахотной земли на человека в настоящее время составляет 0,1 гектара, едва ли половину от среднемирового количества [9].

Таким образом, можно констатировать, что хозяйственная система и общество Китая вступили в фазу зрелости, когда на завершающей стадии индустриальной и потребительской революции разворачивается революция экологическая. Впечатляет объем инвестиций, вкладываемых в решение экологических проблем. В двенадцатой пятилетке (2011-2015 годах) на экологические цели было выделено 5 трлн. юаней (более 800 млрд. долл.), причем в 2015 году объем расходов почти в два с половиной раза превысит уровень 2011 года [10].

Причем масштаб инвестиций в экологию постоянно растет. В период до 2015 года планировалось инвестировать в сферу охраны окружающей среды Китая 3,4 трлн. юаней (или 540 млрд. долл.). В качестве призыва к действию тогда прозвучали слова о развитии в Китае регенеративной экономики, увеличению доли энергосберегающих и низкоуглеродных отраслей, а также концентрация усилий на борьбе с загрязнением экосферы. В период с 2013 по 2017 годы объем инвестиций Китая только в охрану воздушной среды должен составить 1,75 трлн. юаней (290 млрд. долл.). С таким заявлением выступил заместитель президента Китайской академии экологического планирования Ван Цзиньнань: «Значительная часть средств будет направлена на реализацию трех программ. Около 105,4 млрд. долл. будут направлены в отрасль переработки, еще 80,7 млрд. долл. в сектор альтернативных источников энергии, а на снижение уровня загрязнения автомобильного транспорта к 2017 году должно быть потрачено 34,6 млрд. долларов» [11].

**Выводы.** XVIII съезд Коммунистической партии Китая сформулировал комплексную схему строительства социализма с китайской спецификой. Совместно с акцентом на необходимости научного развития и ускорения трансформации модели экономического развития важнейшее внимание было уделено строительству экологической цивилизации, концепция которой включает уважительное отношение к природе, следование ее законам и ее охране. Придерживаясь основной государственной политики экономии ресурсов и охраны окружающей среды, а также уделяя приоритетное внимание экономии ресурсов, охране и естественному восстановлению окружающей среды, китайское руководство стремится соединить строительство экологической цивилизации со всеми аспектами и процессами экономического, политического, культурного и социального строительства, прикладывает огромные усилия к формированию экологической концепции, совершенствованию экологической системы,

охране экологической безопасности и улучшению экологической ситуации в стране.

Руководство Китая полагает, что благоприятная экология является наиболее справедливым общественным благом. Вот почему необходимо правильно выстраивать отношения между экономическим развитием и охраной окружающей среды, крепко усвоить ту концепцию, что экологическая защита – это охрана производительных сил, а улучшение экологии – это развитие производительных сил. Необходимо сознательнее стимулировать «зеленое» развитие, рециркуляционное и низкоуглеродное развитие, абсолютно недопустимо жертвовать окружающей средой ради сиюминутного экономического роста.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Цинь Гунтин. Экологическая политика Китайской Народной Республики на современном этапе / *Theories and Problems of Political Studies*. 2017, Vol. 6, Is. 2A, P. 293-298 [Электронный ресурс] // [publishing-vak.ru/file/archive-politology-2017-2/25-tintin.pdf](http://publishing-vak.ru/file/archive-politology-2017-2/25-tintin.pdf) (дата обращения: 01.06.2018).
2. Бальчиндоржиева О.Б. Экологическая цивилизация и китайская философия // *Гуманитаризм*. – 2016. – № 1. [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-tsivilizatsiya-i-kitayskaya-filosofiya> (дата обращения: 01.06.2018).
3. Древний оригинал Великого учения / Пер. А.И. Кобзев // *Портал Синология* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.synologia.ru/a/Перевод\\_Да-сюэ\\_гу-бэнь](http://www.synologia.ru/a/Перевод_Да-сюэ_гу-бэнь) (дата обращения: 07.03.2016).
4. Wang Zhihe, Ho Huiyi, Van Meytszyun. *Debaty po povodu ekologicheskoi tsivilizatsii* [Debate over Ecological Civilization]. *Nezavisimyi sotsialisticheskii zhurnal – Independent Socialist Journal*. Available at: <http://monthlyreview.org/2014/11/01/the-ecological-civilization-debate-in-china/> (accessed September 22, 2015).
5. Си Цзиньпин. *Всестороннее углубление реформ. Сборник высказываний*. КНР. – Пекин: Изд-во литературы на иностранных языках, 2014. – 280 с.
6. Чун Яту. *От смога до голубого неба* // *Китай: ежемесячный журнал*. – 2018. – № 2 (148). – С.26-28.
7. *Экологическая цивилизация КНР. Спасение для всего мира? // Планета: общественно-политический журнал*. – 2016. – № 10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://planeta.by/issue/201610> (дата обращения: 02.06.2018).

8. Чун Яту. Новая цель и новый вызов // Китай: ежемесячный журнал. – 2018. – № 2 (148). – С.38-39.
9. Фортрыгина Е. Экологические проблемы Китая // Отечественные записки: журнал литературный, политический и ученый. – 2008. – № 3(42). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.strana-oz.ru/content/экологические-проблемы-китай> (дата обращения 30.05.2018).
10. Салицкий А. Китай: мощный старт экологической революции / А. Салицкий, С. Чеснокова, А. Шахматов // Перспективы: Электронный журнал. – Режим доступа: [http://www.perspektivy.info/history/kitaj\\_moshhnyj\\_start\\_ekologicheskoy\\_revolucii\\_2015-03-23.htm](http://www.perspektivy.info/history/kitaj_moshhnyj_start_ekologicheskoy_revolucii_2015-03-23.htm) (дата обращения 30.05.2018).
11. Китай может вложить к 2017 году в проекты по защите окружающей среды до 290 млрд долларов. Экологические новости // Экология производства: научно-практический портал. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecoindustry.ru/news/view/38324.html> (дата обращения 03.06.2018).

Стаття надійшла до редакції 22.10.2018

**Рецензенти:**

постдоктор, доцент Національного інституту соціального розвитку КАСН, почесний член Транспортної академії України **Ма Фен**

доктор технічних наук, професор, проректор Одеського національного морського університету **А.В. Шахов**



УДК 658.012:330.341

**КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ  
УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНИМИ ПРОЕКТАМИ**

**Л.С. Чернова**

к.т.н., доцент

кафедри Інформаційних управляючих систем та технологій  
*l9chsk56@gmail.com*

*Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова*

**Анотація.** У статті проведена оцінка переваг об'єднання проектного і процесного підходів до інноваційних проектів, що націлені на підвищення якості управління.

Позначені фактори, які впливають на поведінку системи на різних рівнях ієрархії управління.

Виявлена необхідність побудови прогнозів та формування показників ефективності для визначення вимірних ефектів стратегії розвитку підприємства.

**Ключові слова:** інноваційний проект, ієрархія управління, показники ефективності, вимірні ефекти.

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ**

**Л.С. Чернова**

к.т.н., доцент

кафедры Информационных управляющих систем и технологий  
*l9chsk56@gmail.com*

*Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова*

**Аннотация.** В статье проведена оценка преимуществ объединения проектного и процессного подходов к инновационным проектам, направленным на повышение качества управления.

Отражены факторы, влияющие на поведение системы на разных уровнях иерархии управления.

Показана необходимость построения прогнозов и формирования показателей эффективности для определения измеримых эффектов стратегии развития предприятия.

**Ключевые слова:** инновационный проект, иерархия управления, показатели эффективности, измеримые эффекты.

UDC 658.012:330.341

CONCEPTUAL FEATURES  
MANAGEMENT OF INNOVATION PROJECTS

**Chernova L.**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Department of information management systems and technologies

*National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov*

***Abstract.** Here, the estimation of benefits of project and process approaches joined together is carried out.*

*The aspects which affect system behaviour at the different levels of management hierarchy are displayed.*

*The need for forecasting and efficiency indexes forming is shown. Both forecasting and efficiency indexes are used for estimation of measurable effects of enter-prise development strategy.*

***Keywords:** innovation project, management hierarchy, indexes of efficiency, measurable effects.*

**Вступ.** Сучасний науково-технічний прогрес немислимий без інтелектуального продукту, одержуваного в результаті інноваційної діяльності. Інновація являє собою матеріалізований результат, який отриманий від вкладення капіталу в нову техніку або технологію.

Інноваційний проект – це комплексний, що не повторюється захід, передбачаючий впровадження нового, обмежений за часом, бюджетом, ресурсами, а також чіткими вказівками щодо виконання, розробаний під потреби замовника. Управління проектами - це управлінське завдання по завершенню проекту в термін, в рамках устанавленого бюджету і відповідно до технічних специфікацій і вимог.

**Постановка проблеми.** Розвиток теорії і практики управління інноваційними проектами до останнього часу йшло двома напрямками: управління процесом впровадження інновацій та управління інновацією як проектом. На початку 2000-х Д.А. Новиков показав, що проектний і процесний підходи є різними способами подання одних і тих же процесів, що протікають в системах [1] і що при необхідності можна переходити від одного способу подання до іншого і назад.

Таким чином, для опису проектів можуть використовуватися моделі, що описують процеси.

Наприклад, модель корпорації, запропонована Ю.А.Зеленковим, [2] дозволяє сформулювати цілі і існуючі можливості її реалізації у вигляді кортежу

$$\Psi = \{UA, UV, UI, A, R, \Theta, w(\cdot), v(\cdot), I, \Gamma\}, \quad (1)$$

де  $A$  – множина дій по досягненню цілей;  
 $R$  – множина результатів дій;  
 $\Theta$  – множина значень обстановки;  
 $I$  – інформація, якою володіє агент на момент прийняття рішення;  
 $v(\cdot)$  – переваги агента, задані функцією корисності;  
 $w(\cdot): A \times \Theta \rightarrow R$  – результат діяльності, який залежить від дії та обстановки;

$U = (UA, UV, UI)$  – вектор управління, що включає в себе інституційне, мотиваційне і інформаційне управління;

$\Gamma$  – цілі.

Викладення основного матеріалу. Для врахування впливу виробничо-економічної системи на реалізацію проектів перепишемо модель виробничо-економічної системи (1) в наступному вигляді:

$$\Psi = \{U, A, R, \Theta, w(\cdot), v(\cdot), I, \Gamma, \varphi\}, \quad (2)$$

де  $U = (UF, UB, UP, UV, UC, US, UI)$  – вектор управління, який включає в себе управління фінансуванням, виробництвом, продукцією, впровадженням, збутом, науковою розробкою, інституційне управління;

$\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$  – вектор моделей продуктових інноваційних проектів, представлених у вигляді кортежу

$$\varphi_i = \{P, T\},$$

де  $P$  – множина значень параметрів управління;

$T$  – множина потреб проекту в ресурсах;

$i$  – номер проекту.

Об'єднання знань, отриманих в рамках різних підходів, підвищить якість управління. Відомо, що ентропія служить кількісною мірою безладу в системі і визначається числом допустимих станів системи. При збільшенні ентропії збільшується розмірність системи або кількість незалежних факторів – змінних в моделі системи. Зі збільшенням ентропії збільшується невизначеність і непорядкованість, для зменшення яких необхідно додати в систему інформацію (застосувати відомі про систему відомості) [3].

К. Шеноном встановлено, що при об'єднанні двох ізольованих систем  $A1$  і  $A2$  в одну єдину систему ( $A1, A2$ ), в якій системи  $A1$  і  $A2$  раціонально взаємодіють, ентропія об'єднаної системи буде менше суми ентропій вихідних об'єднуючих систем

$$E(A1, A2) < [E(A1) + E(A2)].$$

Якщо  $A1$  і  $A2$  – незалежні безлічі елементів систем, які не беруть фізичну або інформаційну взаємодію, тоді в (2) буде знак рівності. Якщо множини елементів  $A1$  і  $A2$  можуть узгоджено вступати у взаємодію, тоді

$$E(A1, A2) < [E(A1) + E(A2)] = > E(A1) + E(A2) + E(A1, A2) = \Delta I_s,$$

де  $\Delta I_s$  – приріст структурної інформації.

Для реалізації різних функцій управління проектом необхідні дії, які будемо називати процесами управління проектами.

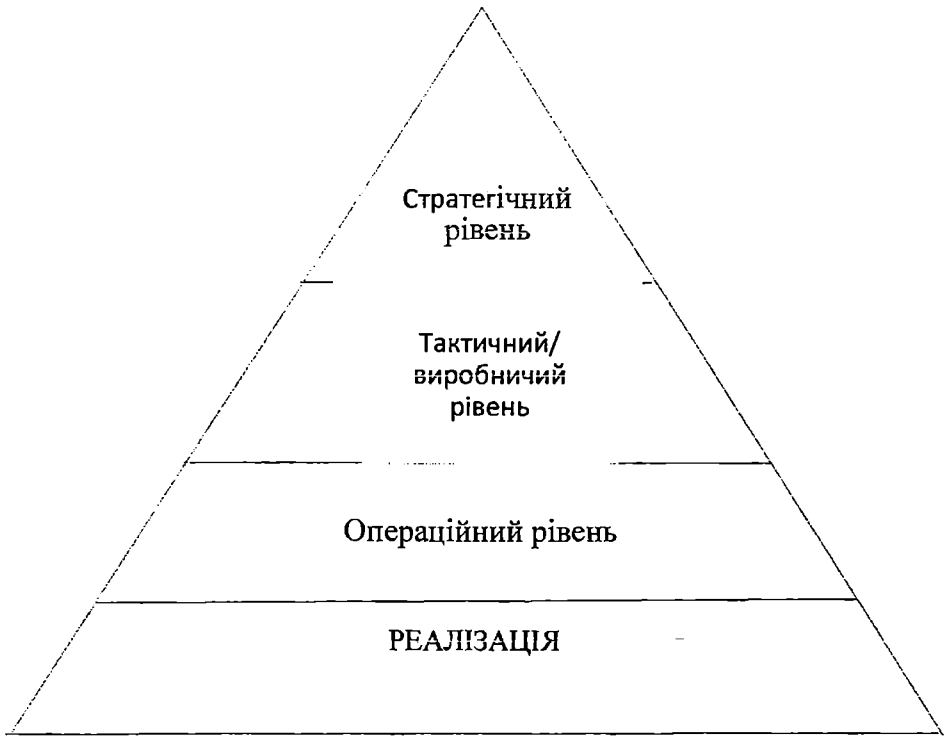
Для адекватної управлінської оцінки ситуації, в якій відбувається вироблення рішення, потрібен глибокий аналіз поточного стану. Крім цього, багато проектів (наприклад, інноваційні) мають всі ознаки систем, які функціонують в умовах обмежених ресурсів, а також схильні до впливу випадкових факторів.

Найбільш істотні з цих факторів: невизначеність взаємодії елементів системи (інноваційного проекту) при відсутності зворотного зв'язку від результатів до ресурсів; невизначеність умов дії системи, що виявляється в невизначеності опису факторів середовища і процесів; непередбачуваність результатів, неоднозначність цілей і орієнтирів, що відрізняє багато проектів від будь-якої іншої організаційної системи, що є цілеорієнтованою і цінностноорієнтованою; динамічна нестійкість і нелінійна динаміка системи; наявність активного суб'єктивного елемента системи – людини. При цьому інновації зачіпають не тільки різні підсистеми, а й різні рівні управління. Рішення приймаються, в тому числі, і на стратегічному рівні, так як від рішення залежить розвиток підприємства, що впроваджує інновацію в цілому.

Стикаючись з безліччю контрольованих елементів, або елементів, які не контролюються, відбивається складна ситуація, розум об'єднує їх в групи відповідно до розподілу деяких властивостей між елементами. Ці елементи, в свою чергу, можуть бути згруповані у відповідності з іншим набором властивостей, створюючи елементи ще одного більш високого рівня, і так до тих пір, поки не буде досягнутий єдиний елемент – вершина, яку часто можна ототожнювати з метою процесу прийняття рішень.

Таким чином, порушуються питання планування і стратегічного управління в масштабі (рік, квартал, місяць), для чого необхідна побудова прогнозів, а також формування показників ефективності, що дозволить приймати ключові рішення і визначати стратегію розвитку компанії [4].

Показники ефективності визначаються, виходячи з того, якого виду ефекти очікується досягти в ході реалізації проекту або розвитку виробничої системи (підприємства).



*Рисунок. Ієрархія управління / планування підприємством*

**Висновок.** На сьогоднішній день виділяють: економічний ефект; науково-технічний ефект; соціальний ефект; екологічний ефект. Ефекти є вимірними і можуть бути виражені показниками ефективності. Для того щоб приймати рішення на основі показників ефективності, ці показники повинні бути присутніми як розрахункові змінні інноваційних проектів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Новиков Д.А. *Управління проектами: організаційні механізми.* – М.: ПМСОФТ, 2007. – 140 с.
2. Омельченко Г.Г. *Гіперграфові моделі та методи рішення дискретних задач управління в умовах невизначеності: Автореф. дис. канд.ф.-м.наук: 05.13.18.* – Ставрополь, 2004. – 19 с.
3. Прангішвілі І.В. *Системний підхід та загальносистемні закономірності: Серія «Системи проблем управління».* – М.: СІНТЕГ, 2000. – 528 с.
4. Бойцовський А.В. *Моделювання та оптимізація розвитку підприємства.* – М.: Наука, 1990. – 327 с.

*Стаття надійшла до редакції 20.11.2018*

#### **Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи  
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова  
**В.С. Блінцов**

доктор технічних наук, доцент, професор кафедри Національного  
університету кораблебудування імені адмірала Макарова **Б.М. Гордєєв**

УДК 656.612: 621.72

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПРОГРАММЫ  
ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ  
НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ «ОБРАЗА ПРОГРАММЫ»**

**А.И. Леонтьева**

*аспирант кафедры «Эксплуатация флота и технология морских перевозок»  
leontieva.ann.13@gmail.com*

**С.П. Онищенко**

*д.э.н., профессор, директор Учебно-научного института Морского бизнеса  
onyshenko@gmail.com*

*Одесский национальный морской университет*

*Аннотация. В данной статье сформулирована концепция «образа программы» и разработана соответствующая математическая модель формирования оптимального состава программы технического развития.*

*«Образ программы» – это шаблон программы, учитывающий технологические взаимосвязи проектов и их распределение во времени. В рамках математической модели осуществляется оптимизация состава программы путем выбора одной из альтернатив для каждого «концептуального» проекта «образа», в качестве критерия оптимизации и основной группы ограничений принято соответствие результатов реализации проектов целям технического развития. Оценка соответствия результатов программы поставленным целям осуществляется на базе теории нечетких множеств.*

*Ключевые слова: нечеткие множества, техническое развитие, управление программой, «образ программы», оптимизация.*

**ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ПРОГРАМИ  
ТЕХНІЧНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА  
НА БАЗІ КОНЦЕПЦІЇ «ОБРАЗУ ПРОГРАМИ»**

**О.І. Леонтьева**

*аспирант кафедры «Эксплуатация флота и технология морских перевозок»  
leontieva.ann.13@gmail.com*

**С.П. Онищенко**

*д.е.н., профессор, директор Навчально-наукового інституту Морського бізнесу  
onyshenko@gmail.com*

*Одеський національний морський університет*

**Анотація.** У даній статті сформульована концепція «образу програми» і розроблена відповідна математична модель формування оптимального складу програми технічного розвитку.

«Образ програми» – це шаблон програми, що враховує технологічні взаємозв'язки проектів і їх розподіл у часі. В рамках математичної моделі здійснюється оптимізація складу програми шляхом вибору однієї з альтернатив для кожного «концептуального» проекту «образу», як критерій оптимізації і основна група обмежень прийнято відповідність результатів реалізації проектів цілям технічного розвитку. Оцінка відповідності результатів програми поставленим цілям здійснюється на базі теорії нечітких множин.

**Ключові слова:** нечіткі множини, технічний розвиток, управління програмою, «образ програми», оптимізація.

UDC 656.612: 621.72

## OPTIMIZATION OF THE TECHNICAL DEVELOPMENT PROGRAM COMPOSITION ON THE BASIS OF THE «PROGRAM IMAGE» CONCEPT

**Leontieva A.I.**

Postgraduate, department «Fleet operating and sea transport technology»  
leontieva.ann.13@gmail.com

**Onyshchenko S.P.**

Doctor of Economics, Professor,  
Director of «Educational & Scientific Institute of Marine Business»  
onyshenko@gmail.com

Odessa National Maritime University

**Abstract.** In this article, the «program image» concept is formulated and the corresponding mathematical model of the optimal composition formation for the technical development program is developed.

A «program image» is a program template that takes into account the technological interconnections of projects and their distribution over time. Within the framework of the mathematical model, the composition of the program is optimized by choosing one of the alternatives for each «conceptual» project of the «image», the compliance of the results of projects implementation to the goals of technical development is taken as the optimization criterion and the main group of restrictions. The assessment of the compliance of the program results with the goals set is carried out on the basis of the fuzzy sets theory.

**Keywords:** fuzzy sets, technical development, program management, «program image», optimization.



**Введение.** Повышение уровня технического развития является одним из направлений развития предприятия, при этом приоритетность технического развития зависит от специфики деятельности предприятия. Так, для предприятий, чьи производственные процессы осуществляются с использованием значительных по значимости и стоимости техники, оборудования и технологий, вопросы технического развития становятся наиболее приоритетными, с учетом значительного влияния уровня технологий и состояния техники на себестоимость, производительность и качество продукции.

Например, оператор контейнерного терминала морского торгового порта – компания, чьи производственные процессы связаны с использованием значительного количества и разнообразного по структуре перегрузочного оборудования – от относительно небольших погрузчиков, используемых при стаффировке контейнеров (загрузки контейнера), до портальных контейнерных перегружателей, осуществляющих непосредственно разгрузку и загрузку судов, а также тыловых перегружателей, которые перемещают контейнеры по тыловой территории терминала.

Кроме того, современный контейнерный терминал – комплекс, осуществляющий множество операций, связанных с прохождением через морской порт контейнеризированных грузов, требует автоматизацию многих производственных процессов, что обеспечивается использованием соответствующих автоматизированных систем управления. Таким образом, вопросы технического развития, которое осуществляется посредством соответствующих проектов, являются актуальными для современных контейнерных терминалов, так как определяют непосредственно конкурентоспособность их компаний-операторов в условиях высокого уровня конкуренции как на международном, так и на национальном уровне.

С учетом многоаспектности технического развития, практическая реализация соответствующих мероприятий осуществляется посредством множества проектов, которые в ряде случаев формируют программу технического развития.

**Анализ основных исследований и публикаций.** Формирование оптимального состава портфеля и программы является задачей, которая рассматривалась в различных исследованиях отечественных и зарубежных авторов, например в [1-6].

Анализ источников показал, что в качестве математической основы формирования портфелей и программ, а также отбора единичных проектов для реализации, чаще всего используется теория нечетких множеств (например, [3; 5; 6]), которая позволяет учитывать специфическую неопределенную природу результатов реализации проектов.

Отметим, что в большинстве существующих подходов в качестве критериев отбора проектов и формирования портфелей и программ используются экономические показатели, что не соответствует современ-

ному видению «ценности» проектов (согласно [4]). Исключение, работы [1; 3], в которых в том или ином виде учитываются стратегические цели предприятия.

В [1] было введено понятие «образ программы». Под «образом» программы в [1] понимается набор результатов, которые должны быть достигнуты по совокупности целей. При этом предлагается каждой цели поставить в соответствие подпрограмму, множество которых и формирует «образ» программы. Авторы [1] вводят данное понятие «образа», понимая под этим то, что проецируется, исходя из системы целей, при этом согласно предлагаемому подходу в образе программы сформулированы желаемые значения ценностей по каждой подпрограмме. Таким образом, данное понимание «образа программы» коррелирует с множеством необходимых результатов в соответствии с поставленными целями.

Программы технического развития обладают определенной спецификой, в частности, проекты данных программ (все или подмножество) являются технологически взаимосвязанными, что было обосновано в [7].

При этом следует отметить, что составление «образа программы» технического развития только на базе подпрограмм и ценностей в соответствии с каждой целью не представляется целесообразным, так как, в отличие от программ развития, рассматриваемых в [1], проекты в программах технического развития могут соответствовать нескольким целям и, соответственно, участвовать в формировании различных ценностей.

В [8] в качестве ценности проектов технического развития предложено использовать понятие «вклад проекта в достижение целей». Таким образом, следуя данному подходу и учитывая специфику программ технического развития, изложенную в [7], идея «образа программы» [1] может быть развита для распространения ее на область управления программами технического развития.

**Цель и задачи исследования.** *Целью данного исследования является разработка математической модели, которая позволяет оптимизировать состав программы технического развития предприятия на базе концепции «образа программы».*

Исходя из цели, поставлены *следующие задачи* исследования:

- 1) сформулировать концепцию «образа программы» для программ технического развития с учетом их специфических особенностей;
- 2) разработать математическую модель оптимизации состава программы технического развития на базе концепции «образа программы».

**Изложение результатов исследования.** *Концепция «образа программы».* Предлагается «образ программы» представлять в виде совокупности «концептуальных» проектов, то есть проектов, идея которых сформулирована достаточно обобщенно, концептуально. Например, концептуальным будет являться проект, сформулированный как «проект приобретения нового контейнерного перегружателя». При этом к рассмотрению

для отбора может быть представлено множество проектов данной категории с конкретизированной сущностью, как то: проекты приобретения контейнерных перегружателей с конкретными характеристиками, от конкретного производителя.

Отметим, что согласно [7], в рамках программы технического развития часть или все проекты могут быть технологически взаимосвязаны. Под технологической взаимосвязью проектов будем понимать их упорядочение по получению продуктов проектов. Как известно, продукт проекта – это то, что появляется в результате реализации проекта.

С учетом специфики на содержательном уровне проектов технического развития их продуктами могут являться:

- эксплуатируемая техника (оборудование) как часть производственной базы;
- внедренная технология (новая, улучшенная, инновационная) и т.д.

Например, проект 1 – установление нового перегружателя и проект 2 – внедрение автоматизированной системы управления (перевод перегружателя в автоматический режим работы) являются технологически взаимосвязанными, так как сначала необходимо выполнить проект 1, и только потом может реализовываться проект 2.

При этом следует обратить внимание, что технологическая зависимость между проектами может проявляться по-разному: в предыдущем примере – приобретение и установка перегружателя и закупка новой автоматизированной системы управления и обучение специалистов могут происходить параллельно, но готовые продукты этих проектов появляются последовательно.

Отметим, что формирование «образа программы» технического развития представляет собой один из двух основных вариантов формирования программы в рамках управления ее содержанием.

Таким образом, после формулировки целей технического развития возможны два варианта формирования программы технического развития:

1) в первом варианте формирование структуры программы осуществляется путем подбора проектов, соответствующих множеству целей и удовлетворяющих набору условий (например, ограничений по времени, объемам финансирования и т.п.);

2) во втором варианте формируется «образ программы» из набора концептуальных проектов, и производится отбор проектов-альтернатив для каждого прототипа из образа программы. В этом случае образ программы играет роль шаблона, который «заполняется» конкретными проектами. Данный вариант считаем особо предпочтительным при наличии *технологической взаимосвязи* проектов, что уже становится определенным на этапе формирования самой идеи программы технического развития с учетом потребностей в техническом развитии.

Концепція формування содержания програми на основі «образу програми» представлена в виді схеми на рис. 1.

Згідно запропонованому підходу в відповідності з цілями технічного розвитку формується «образ програми» – набір *концептуальних проектів*. На цьому етапі встановлюються взаємозв'язки проектів, то єсть програма набуває визначену структуру і концепцію содержания.

Далі для кожного концептуального проекту формується множество альтернативних варіантів проектів, деталізованих і конкретизованих. На цьому етапі кожен проект оцінюється з точки зору цінності програми, ефективності, необхідних ресурсів. Також вважаємо цілесобразним оцінити для розглядаваного множества проектів «проектний потенціал» [6]. Даний показуваль був введений в [6] для оцінки успішності реалізації проектів, який пропонується використовувати як одне з обмежуючих умов при виборі проектів. Згідно цьому підходу проекти з високим рівнем ефективності (цінності), але низьким рівнем проектної потенціалу (що свідчить про високу ризикованість проекту на етапі його реалізації) на етапі попереднього аналізу «відкидаються», як не пройшли успішно первинну оцінку.

Далі за заданим критерієм – цінність програми, з урахуванням обмежуючих умов по ресурсам, часу, цінності і проектній потенціалу, для кожного «концептуального» проекту в образі програми вибирається конкретний проект. В результаті цього формується содержание програми.

Звернемо увагу, що вибір проектів повинен вироблятися не послідовно, а локально для кожної «ячейки» образу програми, а інтегровано, так як системні властивості проектів програми можуть бути враховані саме таким чином.

Це, в свою чергу, можна реалізувати шляхом використання оптимізаційної моделі, розглядаючої одночасно весь образ програми і все множество альтернативних проектів.

В процесі формування содержания програми слід врахувати взаємне співвідношення множества альтернативних проектів і цілей, і, зокрема, той факт, що кожен проект може вносити внесок в досягнення одразу декількох цілей. При цьому можливі ситуації, коли альтернативні варіанти для концептуального проекту з образу програми вносять різний внесок в різне підмножество цілей (приклад на рис. 2 [8]).

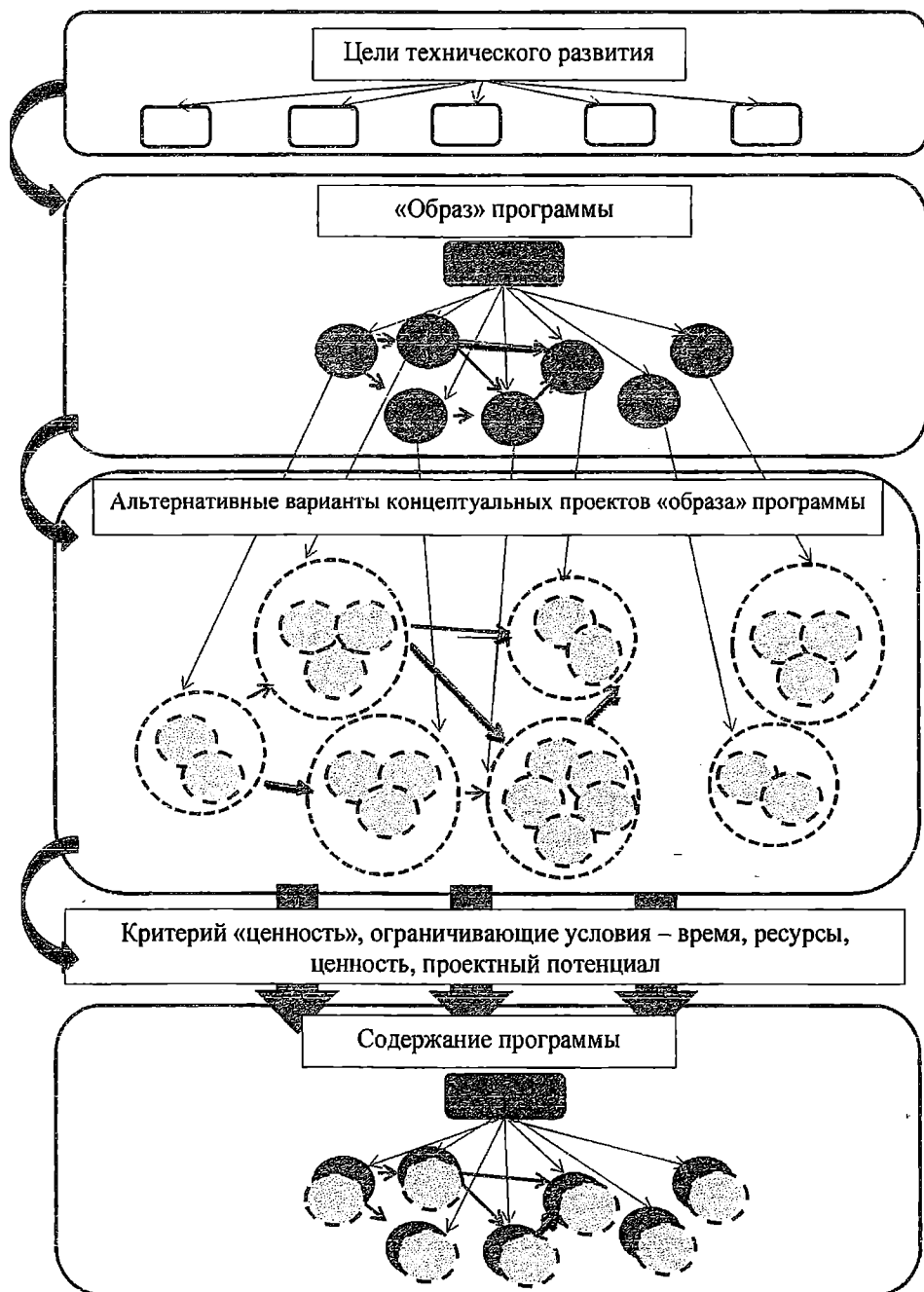


Рис. 1. Концепция формирования содержания программы на основе «образа программы»

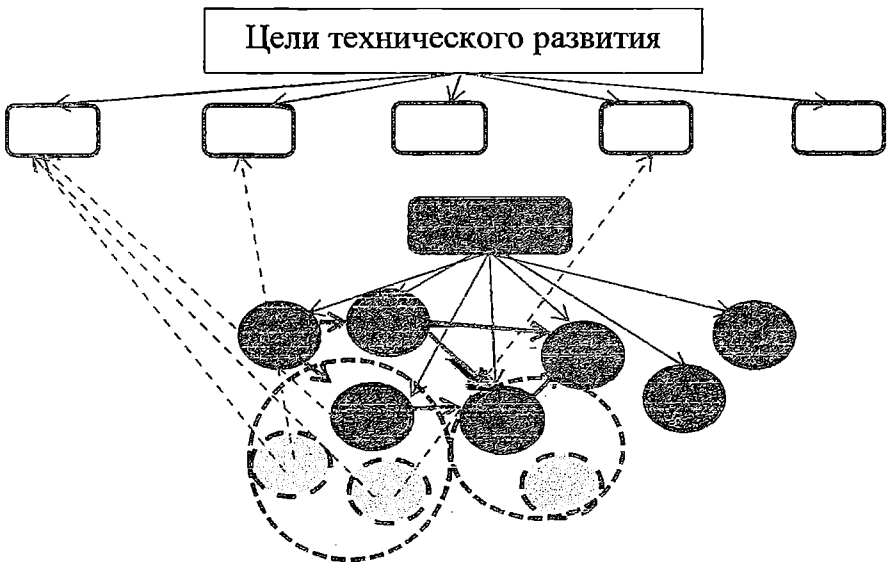


Рис. 2. Вклад альтернативных проектов в достижение целей программы [8]

Таким образом, при формировании программы на основе «образа программы» следует учесть:

1. Вклад каждого проекта в достижение множества целей. Такой подход был изложен в [7] и отражает понимание ценности проекта как его соответствие целям технического развития.

2. Эффект синергизма, который является системным свойством, проявляющимся в усилении тех или иных характеристик системы. Классическим проявлением синергизма в экономике является увеличение прибыли за счет снижения расходов. Программа является системой, в которой формируются условия для появления синергизма, что было охарактеризовано в [8]. Реализация нескольких проектов обеспечивает синергизм, который проявляется в превышении ценности реализации нескольких проектов над суммой их ценностей. Обычно это наблюдается в ситуациях, когда проекты дополняют и способствуют усилению свойств друг друга.

Отметим, что концепция формирования программы технического развития на основе «образа программы» позволяет:

1) учесть технологическую взаимосвязь проектов до оптимизации ее состава, что уменьшает размерность решаемой задачи и необходимость введения временного параметра;

2) учесть взаимоисключение проектов в рамках отдельных секций шаблона образа, что также уменьшает размерность решаемой задачи.

Таким образом, предварительное построение «образа программы» обеспечивает в полном объеме учет технологических особенностей проектов, а также ликвидирует необходимость моделировать структуру взаимосвязей проектов в процессе оптимизации состава программы.

*Моделирование оптимальной структуры программы на базе ее «образа».* Пусть «образ программы» состоит из  $m$  концептуальных проектов. Поставим в соответствие каждой альтернативе концептуального проекта переменную  $y_j^k \in \{0;1\}, j = \overline{1,m}; k = \overline{1,K_j}$ , которая «отвечает» за отбор проекта в программу. С учетом необходимости выбора проекта для каждой «ячейки» образа-шаблона, справедливо следующее условие:

$$\sum_{k=1}^{K_j} y_j^k = 1, j = \overline{1,m}. \quad (1)$$

Согласно подходу, предложенному в [7], ценность проекта технического развития состоит в его интегральном вкладе в цели технического развития. Пусть выделены  $n$  целей технического развития, количественная характеристика которых  $U_i, i = \overline{1,n}$ , которые являются нечеткими множествами,  $\mu_{U_i}(x_i), i = \overline{1,n}$  – функция принадлежности, соответствующая поставленной  $i$ -ой цели,  $x_i$  – возможные значения нечеткой величины, характеризующей  $i$ -ую цель.

Пусть результаты реализации каждого проекта с позиции достижения целей могут быть охарактеризованы набором нечетких величин  $\langle \tilde{\Pi}_j^{k,1}, \tilde{\Pi}_j^{k,2}, \dots, \tilde{\Pi}_j^{k,n} \rangle, j = \overline{1,m}; k = \overline{1,K_j}$ , которым соответствуют следующие наборы функций принадлежности:

$$\langle \mu_{\tilde{\Pi}_j^{k,1}}(x_1), \mu_{\tilde{\Pi}_j^{k,2}}(x_2), \dots, \mu_{\tilde{\Pi}_j^{k,n}}(x_n) \rangle, j = \overline{1,m}; k = \overline{1,K_j}. \quad (2)$$

Отметим, что в данном исследовании за математическую основу приняты результаты, изложенные в [5; 9; 10].

«Вклад» проекта в достижение конкретной цели технического развития предлагается определять по свойствам операций над нечеткими множествами – как их пересечение, то есть как нечеткое множество, при этом

$$\mu_{C_j^k}(x_i) = \mu_{\tilde{\Pi}_j^{k,i}}(x_i) \cap \mu_{U_i}(x_i) = \min \left\{ \mu_{\tilde{\Pi}_j^{k,i}}(x_i), \mu_{U_i}(x_i) \right\}, \quad (3)$$

$$i = \overline{1,n}; j = \overline{1,m}; k = \overline{1,K_j}$$

где  $\tilde{C}_j^{k,i}$  – нечеткое множество с функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{C}_j^{k,i}}(x_i)$ , описывающее соответствие результатов  $k$ -ой альтернативе  $j$ -го проекта  $i$ -ой цели.

Для перехода от нечеткой оценки вклада проекта в достижение цели к числовой оценке воспользуемся процедурой дефазификации. Таким образом, от нечеткой величины  $\tilde{C}_j^{k,i}$  – вклада проекта в достижение цели – осуществляется переход в числовую оценку этого же вклада  $C_j^{k,i}$  по принципу

$$C_j^{k,i} = x_i^*, \mu_{\tilde{C}_j^{k,i}}(x_i^*) = \sup_{x_i} \{ \mu_{\tilde{C}_j^{k,i}}(x_i) \} \quad (4)$$

где  $\sup_{x_i} \{ \mu_{\tilde{C}_j^{k,i}}(x_i) \}$  – супремум (в контексте данной задачи – максимум) функции принадлежности нечеткого числа  $\tilde{C}_j^{k,i}$ .

Соответственно,

$$\mu_{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{K_j} \tilde{p}_j^{k,i}}(x_i) \cap \mu_{\Pi_i}(x_i) \quad (5)$$

– совместный вклад проектов в достижение  $i$ -ой цели,

$$\sup_{x_i} \{ \mu_{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{K_j} \tilde{p}_j^{k,i}}(x_i) \cap \mu_{\Pi_i}(x_i) \}$$

достигается в точке  $x_i^*$ , то есть это вклад, соответствующий супремуму, а

$$\sup_{x_i} \{ \mu_{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{K_j} \tilde{p}_j^{k,i}}(x_i) \cap \mu_{\Pi_i}(x_i) \} - \quad (6)$$

степень данного вклада.

Будем полагать, что цели технического развития обладают разной степенью приоритетности, поэтому установим для каждой цели  $0 < \alpha_i < 1, i = \overline{1, n}$  – нижнюю границу степени достижения целей. При этом будем полагать, что цели проранжированы, то есть с увеличением  $i$  уменьшается приоритетность целей.

Установим для целей величины  $0 < \alpha_i \leq 1, i = \overline{1, n}$ , которые логично должны быть убывающими по мере роста  $i$ , например,  $\alpha_1 = 0,95, \alpha_2 = 0,9, \alpha_3 = 0,85...$  и т.д. Данные  $\alpha_i$  отражают необходимую степень достижения целей.



С учетом изложенного выше, целевая функция модели оптимизации состава программы на базе ее образа имеет вид (в качестве критерия используется наиболее значимый целевой показатель)

$$\sup_{x_1} \{ \mu_{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{K_j} \tilde{p}_j^{k+1} \cdot y_j^k} (x_1) \cap \mu_{\mu_1} (x_1) \} \rightarrow \max. \quad (7)$$

В соответствии с остальными целевыми показателями получаем множество ограничений следующего вида:

$$\sup_{x_i} \{ \mu_{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{K_j} \tilde{p}_i^{k,i} \cdot y_j^k} (x_i) \cap \mu_{\mu_i} (x_i) \} \geq \alpha_i, i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Пусть  $\tilde{R}_j^k, j = \overline{1, m}; k = \overline{1, K_j}$  – нечеткое число (треугольного типа), описывающее расходы по проекту с функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{R}_j^k} (z)$  и пусть  $F$  – бюджет программы, что также описывается нечетким множеством (предлагается использовать вид «бюджетного ограничения» ([5]) с функцией принадлежности  $\mu_F (z)$ . Тогда ограничение по финансированию программы имеет вид

$$\sup_z \{ \mu_{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{K_j} \tilde{R}_j^k \cdot y_j^k} (z) \cap \mu_{\overline{F}} (z) \} \leq \alpha_F, \quad (9)$$

что аналогично (с учетом свойств нечетких множеств)

$$\sup_z \{ \mu_{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{K_j} \tilde{R}_j^k \cdot y_j^k} (z) \cap (1 - \mu_F (z)) \} \leq \alpha_F, \quad (10)$$

где  $0 < \alpha_F < 1$  – определяет степень «выхода» за границу установленного бюджета,  $\mu_{\overline{F}} (z)$  – функция принадлежности для  $\overline{F}$ .

Таким образом, при достаточно малых значениях  $\alpha_F$  ограничение (10) не позволяет суммарным затратам по проектам

$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{K_j} \tilde{R}_j^k \cdot y_j^k$  принадлежать «внебюджетному» множеству  $\overline{F}$  со степе-

пенью принадлежности больше, чем  $\alpha_F$ .

Кроме того, могут быть установлены бюджетные ограничения по каждому концептуальному проекту  $j$

$$\sup_z \{ \mu_{\sum_{k=1}^{K_j} \tilde{R}_j^k \cdot y_j^k} (z) \cap (1 - \mu_F (z)) \} \leq \alpha_F^j, j = \overline{1, n}, \quad (11)$$

где  $0 < \alpha_F^j \leq 1, j = \overline{1, n}$  определяют степень выхода за границы бюджета.

Отметим, что вопросы математического описания эффекта синергизма в терминах нечетких множеств требуют отдельного рассмотрения и поэтому в данном исследовании полагается, что в (10) появление синергизма учитывается в качестве снижения суммарных затрат, а в (7), (8) в качестве прироста «ценности», однако, без детализации, что является отдельной задачей.

Таким образом, (1), (7)-(11) формируют математическую модель, которая позволяет формировать состав программы технического развития на базе концепции «образа программы» с учетом требования достижения целей технического развития и ограничения по бюджету в условиях неопределенности информации, поддающейся описанию средствами теории нечетких множеств.

**Выводы.** В данной статье сформулирована концепция и разработана соответствующая математическая модель формирования оптимального состава программы технического развития.

Основная идея концепции состоит в том, что в рамках программы технического развития часть (или все) проектов могут быть технологически взаимосвязаны, поэтому использование «образа программы» – шаблона программы, учитывающего все взаимосвязи проектов, позволяет снизить размерность оптимизационной модели, в том числе, не вводить временной параметр, что также может быть учтено при формировании «образа программы».

Поэтому в рамках математической модели осуществляется оптимизация состава программы путем выбора одной из альтернатив для каждого «концептуального» проекта «образа», в качестве критерия оптимизации и основной группы ограничений принято соответствие результатов реализации проектов – целям технического развития. Оценка соответствия результатов программы поставленным целям осуществляется на базе теории нечетких множеств, что является наиболее подходящим в этой ситуации математическим аппаратом с учетом специфики неопределенности целей и результатов.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Онищенко С.П. Формирование оптимального состава программы развития предприятия / С.П. Онищенко, Е.С. Арабаджи // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 6. – № 3 (54). – С. 60-66.*
2. *Тесля Ю.М. Розробка концептуальних основ матричного управління портфелями проектів і програм / Ю.М. Тесля, Т.В. Латішева // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – Т. 1. – № 3 (79). – С. 12-18.*

3. Кононенко И.В. Модель и метод оптимизации портфелей проектов предприятия для планового периода / И.В. Кононенко, К.С. Букреева // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 1/2(43). – 2010. – С. 9-11.
4. Бушуев С.Д. Модель гармонизации ценностей программ развития организаций в условиях турбулентности окружения / С.Д. Бушуев, Н.С. Бушуева, Р.Ф. Ярошенко // Управління розвитком складних систем. – 2012. – Вип. 10. – С. 9-13.
5. Аньшин В.М. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности / В.М. Аньшин, И.В. Демкин, И.М. Никонов, И.Н. Царьков. – М.: МАТИ, 2007. – 117 с.
6. Руденко С.В. Разработка концепции отбора проектов и ее формализация в условиях отсутствия полноты информации / С.В. Руденко, В.А. Андриевская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 2(3). – С. 4-10.
7. Онищенко С.П. Структура и цели программ технического развития контейнерных терминалов морских торговых портов / С.П. Онищенко, А.И. Леонтьева // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами: Зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – № 1 (1277). – С. 39-43.
8. Леонтьева А.И. Оценка ценности проектов технического развития предприятий // Вісник ОНМУ, 2017. – Вип. 4(53). – С.239-250.
9. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 736 с.
10. Zadeh L.A. Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility // Fuzzy Sets and Systems. – 1978. – Vol. 1.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2018

#### Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, проректор з навчально-організаційної роботи Одеського національного морського університету  
**А.В. Шахов**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету **О.Г. Шибась**

УДК 629.5.05.527.05

## СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В УМОВАХ РІЧКОВОЇ Е-НАВИГАЦІЇ

**В.В. Доронін**

*к.т.н., професор кафедри  
«Технічні системи і процеси керування в судноводінні»  
doronin\_vladimir@ukr.net*

**В.М. Алейніков**

*аспірант  
vladxxx2017@ukr.net*

**О.М. Спіян**

*аспірант spiyau@ukr.net*

*Державний університет інфраструктури та технологій*

**Анотація.** Побудована модель перетворення об'єктів зовнішнього середовища в умовах сучасного методу річкової е-навігації. Проведений аналіз останніх досліджень та публікацій за темою показав, що науково обґрунтований підхід до даного напрямку розглядався тільки у вигляді гіпотез без теоретичного обґрунтування.

Для побудови моделі розміщення об'єктів застосовані коефіцієнт заповнення, геометричні фігури – основи паралелепіпедів для аналітичного опису оболонок, визначений математичний вираз сумарної довжини зв'язків для оцінки якості розміщення об'єктів із знаходженням екстремуму функції якості. Для розрахунку радіусу кулі з центром в точці з тієї значенням критерію якості застосовані критерії Ліпшиця і міра доповнення за методом Монте-Карло. Визначений алгоритм пошуку оптимальних значень критеріїв якості. Розміщення об'єктів представлено в графічному і табличному вигляді. Описана покрокова побудова осередків для розміщення груп об'єктів.

Проведений експертний аналіз перетворення об'єктів – складових елементів річкової е-навігації, визначені шляхи їх удосконалення. Для перевірки побудованої моделі пронумеровані осередки для ділянки Нижнього Дніпра від Каховської ГЕС до с. Львове. Зроблено висновок про оптимізацію об'єктів зовнішнього середовища на даній ділянці.

**Ключові слова:** річкова е-навігація, водний транспорт, електронна карта, засоби навігаційного обладнання.

## СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ РЕЧНОЙ Е-НАВИГАЦИИ

**В.В. Доронин**

*к.т.н., профессор кафедры «Технические системы  
и процессы управления в судовождении»  
doronin\_vladimir@ukr.net*

**В.М. Алейников**

*аспирант vladxxx2017@ukr.net*

**А.Н. Спьян**

*аспирант spiyap@ukr.net*

*Государственный университет инфраструктуры и технологий*

**Аннотация.** Построена модель преобразования объектов внешней среды в условиях современного метода речной е-навигации. Проведенный анализ последних исследований и публикаций по теме показал, что научно обоснованный подход по данному направлению рассматривался только в виде гипотез без теоретического обоснования.

Для построения модели размещения объектов применены коэффициенты заполнения, геометрические фигуры – основания параллелепипедов для аналитического описания оболочек, определено математическое выражение суммарной длины связей для оценки качества размещения объектов с нахождением экстремума функции качества. Для расчета радиуса круга с центром в точке *tip* значения критерия качества применены критерии Липшица и мера дополнения по методу Монте-Карло. Определен алгоритм поиска оптимальных значений критериев качества. Размещение объектов представлено в графическом и табличном виде. Описано пошаговое построение ячеек для размещения групп объектов.

Проведен экспертный анализ преобразования объектов – составных элементов речной е-навигации, определены пути их усовершенствования. Для проверки построенной модели пронумерованы ячейки для участка Нижнего Днепра от Каховской ГЭС до с. Львово. Сделан вывод об оптимизации объектов внешней среды на данном участке.

**Ключевые слова:** речная е-навигация, водный транспорт, электронная карта, средства навигационного оборудования.

UDC 629.5.05.527.05

**THE STRUCTURAL TRANSFORMATIONS OF THE OBJECTS  
OF ENVIRONMENT UNDER THE RIVER E-NAVIGATION CONDITIONS**

**Doronin Vladymyr**

PhD, Professor of the Department  
of Technical Systems and Control Processes in Navigation  
*doronin\_vladimir@ukr.net*

**Aleynikov Vladyslav**

Postgraduate student *vladxxx2017@ukr.net*

**Spiian Oleksandr**

Postgraduate student *spiyan@ukr.net*

*State University of Infrastructure and Technologies*

**Abstract.** *The optimization problem of the navigational equipment placement under the modern method of river e-navigation conditions was considered. The transforming model of objects allows to get the most optimal navigational data and fulfil the density requirements and quality of navigational equipment placement.*

*Recent studies indicate that there are only hypotheses without theoretical basis on this topic.*

*Depending on fullness coefficient were considered different placement types of the objects of environment in the inland waterway on vessel traffic aquatorium. In order to display objects' swept area on electronic chart, were used geometrical figures, such as a parallelepiped base for simple analytic description. Due to mathematical expression was estimated the quality of objects placement within an extremum quality function group. This function is restricted by the biggest criterion. The Lipchitz criteria and the Monte Carlo method were used, in order to calculate the radius of the circle centered at the point with the minimum value of the quality criterion. An algorithm for finding the optimal values of the quality criterion was defined.*

*The placing grid for objects of the environment in graphical and tabular form was developed for input signals of instrument navigation. The process of group objects differentiating was described. An expert analysis of the objects transformations of environment was conducted - the main parts of e-navigation and determined the ways of their improving. The thesis is also completed with placement examples of aids to navigation and their display on electronic charts in other countries.*

*The software implementation was developed and tasted with a help of the objects transforming model during navigation data processing considering the vessel traffic specific.*

*The Nyzhnie Dnipro aquatorium from Kakhovska hydropower station to Lvove village was numerated for parts in order to test the model. The developed mathematical model is accurate, because placement of the objects of environment were optimized.*

*In conclusion, should be added, that the placement optimization of aids to navigation will improve the water traffic safety and Ukrainian defence capability. The conducted experiments prove that this method can be recommended on a practical level. This theoretical, experimental and practical research can serve as a basis for new optimization methods and software implementation.*

**Keywords:** river e-navigation, water transport, electronic charts, aids to navigation.

**Постановка проблеми.** Структурні перетворення об'єктів зовнішнього середовища (*obj*) включають розміщення об'єктів *obj* та їх перетворення під сучасний метод річкової е-навігації. Розміщення *obj* для отримання оптимального потоку навігаційних даних при інструментальному методі навігації (ІМН) на внутрішніх водних шляхах (ВВШ) пов'язане з виконанням вимог до щільності і якості розміщення *obj*. Вирішення завдання зводиться до визначення у двомірному просторі сумарних довжин зв'язків кожного нерозміщеного *obj* з уже розміщеними.

Довжину зв'язку між *obj* визначимо величиною, рівною площі прямокутника, яка є функцією зони їх дії та технічних обмежень. При цьому можна однозначно визначити одну із заздалегідь призначених позицій *obj*. Множину взаємопов'язаних *obj* визначимо множиною  $M\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ . Кожному *obj*  $m_j$  відповідає вектор опису  $\overline{X}_j$ , а множині  $M$  – множина векторів опису  $X\{\overline{X}_1, \overline{X}_2, \dots, \overline{X}_n\}$ . Завдання полягає в розбитті  $M$  по множині  $X$  на  $t$  груп. Число груп  $t$  визначається в процесі вирішення оптимізаційної задачі при встановленні класів вхідних сигналів в нейромережі (NN) системи ІМН (річкової е-навігації).

$$\overline{X}_j = x : A = \|a_{ij}\|_{m \times n} \Rightarrow \delta_i = \left( \frac{n_j}{\sum_{j=1}^{n_j} a_{ij}} \right)^{T'} , \delta_i < \varepsilon_j \Rightarrow obj \in J, \quad (1)$$

де  $\overline{X}_j$  – вектор опису;

$x$  – одна вимірювана характеристика;

$A$  – матриця, яка визначає зв'язність елементів;

$\delta_i$  – коефіцієнт віддаленості *obj*  $m_i$  в  $J$  групі;

$n_j$  – число елементів в групі;

$\sum_{j=1}^{n_j} a_{ij}$  – сума зв'язків  $m_i$  елементів з *obj*  $n_j$  в групі;

$T'$  – евристична *const*;

$\varepsilon_j$  – порогове значення для  $\delta_i$ .

$$\text{Opt } m = \left( K = \sum_{j=1}^m \frac{S_j^I}{S_j^{II}} \right) \rightarrow K_{\min}, \quad a_{ij} = \frac{n_i \cdot n_j}{S_{ij}}, \quad (2)$$

де  $S_j^I$  – число міжгрупових зв'язків  $J$  групи;

$S_j^{II}$  – число внутрішньогрупових зв'язків при розбитті множини  $obj$  на  $m$  груп;

$a_{ij}$  – міра віддаленості між  $I$  і  $J$  групами;

$n_I$  і  $n_J$  – число елементів у  $I$  і  $J$  групах;

$S_{IJ}$  – міжгрупові зв'язки.

**Огляд останніх досліджень і публікацій.** Так склалося, що проблема розміщення об'єктів зовнішнього середовища та їх перетворення під сучасний метод річкової *e*-навігації на внутрішніх водних шляхах України, яка досліджується, вивчена ще не повністю, деякі її питання досліджені поверхово і побіжно. Як показав аналіз, науково обґрунтований підхід до даного напрямку розглядався тільки у вигляді гіпотез без теоретичного обґрунтування. Публікації зарубіжних авторів в основному пов'язані з тематикою морської *e*-навігації, яка досить популярна останнім часом серед усіх виробників навігаційної апаратури, споживачів і осіб, причетних до процедур судноводіння і управління цим процесом. Причому, публікації пов'язані з фундаментальними завданнями, які необхідно вирішити для досягнення основних цілей програм на міжнародному рівні і на рівні окремих держав. Так, у роботах авторів Д. Потрайко (Patraiko, 2007), Мітрополос (Mitropoulos, 2007) однозначно трактується термін *e*-навігація як покращення, розширення можливостей навігації від англійського *to enhance* [1, 2], який можна застосувати до річкової *e*-навігації. У документі ІМО (MSC 85/26 /Add.1 Annex 20) перераховуються основні вимоги до реалізації та використання морської *e*-навігації, а також потенційні користувачі, згруповані за потребами. Визначені та описані ключові елементи *e*-навігації, що включають архітектуру, людський фактор, конвенції та стандарти, місце розташування судна [3]. На міжнародних конференціях [4-9] авторами С. Максимовим (Maksimov, 2014), Боруп (Borup, 2012), В. Зейлер (Zeiler, 2017), М. Кард (Card, 2014), Д. Валетт (Valette, 2015), И. Порат, Д. Сик (Porathe, Sik, 2014). обговорювалися проекти, які підлягають втіленню і реалізації в акваторіях Балтійського моря (32 країни-учасниці), Північного моря (11 країн-учасниць) Малаккської і Сінгапурської протоки (5 країн-учасниць). За проектом ACCSEAS 2012.04–2015.02 проводяться практичні випробування морської берегової інфраструктури, які реалізують технології *e*-навігації, що є найбільш близьким напрямом до тематики статті. Також акцентується увага на комунікаціях як ключовому елементі *e*-навігації. Формат статті не дозволяє розкрити дане питання більш детально. У Європейському Союзі ведуться науково-дослідні проекти в області *e*-навігації на гранти ЄС (SafeSeaNet, Monalisa).



Слід зазначити, що нове обладнання на море впроваджувалося ІМО у значній мірі спонтанно. Експлуатаційні стандарти на нові види морської техніки розроблялися, як правило, з ініціативи промисловості. При цьому форсоване впровадження нововведень на практиці майже завжди було мотивовано посиленням контрольних функцій, прикладом є AIS (Automatic Identification System, автоматична ідентифікаційна система).

Одним з важливих мотивів реалізації програм [4-9] є оптимізація розташування засобів навігаційного обладнання (ЗНО). Собівартість утримання ЗНО у світі постійно зростає і наближається до одного млрд. дол. на рік. Компенсувати ці витрати збільшенням маякового збору майже неможливо – вплине на конкурентоспроможність портів. Таким чином, однією з основних задач *e*-навігації є зниження залежності судноплавства від ЗНО та, відповідно, економія сотень мільйонів доларів, що може бути вирішено тільки при позитивному вирішенні проблеми. Досягнення цілей програм передбачає значні результати для морської і річкової транспортної галузі.

Для України, де всі судноплавні внутрішні водні шляхи знаходяться на р. Дніпро і р. Дунай, ця задача особливо актуальна, оскільки її вирішення дозволить не тільки скоротити витрати на установку і обслуговування плавучих і берегових ЗНО, а й подовжити навігаційний період на внутрішніх водних шляхах. Вибір моделі перетворення об'єктів зовнішнього середовища під сучасний метод річкової *e*-навігації набуває ключового значення для всіх служб забезпечення судноплавства. Для України потрібна цільова програма, яка дозволила б сфокусувати наявні кошти як на вирішенні завдань перспективного комплексного розвитку технології навігації, так і на створенні необхідної національної інфраструктури сталого інформаційного забезпечення *e*-навігації.

Проведений аналіз проблеми у міжнародних пошукових системах наукової інформації: Google Scholar, Meta, BASE, OAIster, SCImago Journal & Country Rank, WorldWideScience.org, Science.gov, CrossRef, ScienceResearch.com показав, що знайдені 45 публікацій стосуються фундаментальних завдань морської *e*-навігації або окремих її елементів. Що стосується публікацій по річковій *e*-навігації та моделях перетворення об'єктів зовнішнього середовища під сучасний метод, то вони відсутні.

У даному разі доречно вказати, що вивчення стану даної проблеми почалося з найбільш ґрунтовних публікацій: монографії В.В. Паніна [10], дисертації В.В. Дороніна [11], статті В. Каретникова у журналі «Річковий транспорт (XXI століття)» № 1, (Росія) [12], монографії Л.Л. Вагушенка [13], монографії А.Б. Волкова [14], які є найбільш близькими до теми статті. Було сформульовано ряд дуже цікавих науково обґрунтованих рекомендацій щодо створення системи річкової *e*-навігації, впровадження якої на водному транспорті, безумовно, забезпечить підвищення безпеки судноплавства.

**Постановка задачі.** Метою статті є побудова моделі перетворення об'єктів зовнішнього середовища в умовах сучасного методу річкової е-навігації.

**Основний матеріал дослідження.** Для розміщення *obj* на початку розмістимо групи *obj*, а потім *obj* у межах груп. Практично можуть виникнути два варіанти розміщення *obj* в акваторії руху суден на ВВШ. Місія розміщення *obj* будуть залежати від коефіцієнта заповнення  $\eta$ :

$$1) \quad \eta < 0.6, \quad l \lll D_{obj} \Rightarrow$$

$$f(x_0 - 0) = f(x_0 + 0) = f(x_0), \quad \forall x \in R, \quad x(t) = T_t \cdot x(t_0),$$

де  $l$  – інтервал розбиття;

$D_{obj}$  – дальність дії *obj*;

$f(x_0)$  – функція вирішення безперервного завдання;

$x(t)$  – ознака динамічної системи в умовах суттєвої невизначеності та впливу середовища на неї.

$$2) \quad \eta > 0.6, \quad l = D_{obj} \Rightarrow$$

$$M \left\{ \begin{matrix} obj1 & obj2 & \dots & objn \\ \varphi_1, \lambda_1 & \varphi_2, \lambda_2, \dots & \varphi_n, \lambda_n \end{matrix} \right\}, \quad \varphi_i, \lambda_i = id(x_i, y_i), \quad \varphi_j, \lambda_j = id(x_j, y_j).$$

Для проєкцій зон дії *obj* на системній електронній карті (SENC) застосуємо геометричні фігури для простого аналітичного опису їх оболонок. Оболонку *obj* можна розглядати в якості її геометричної моделі, що дає можливість враховувати параметри *obj*, які не пов'язані з його конфігурацією.

Таким чином, для двомірного випадку зоною впливу є основа паралелепіпеда, яка наноситься на SENC.

$$L = \sum_{ij=1}^{k_j} a_{ij} \left[ |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \right], \quad (3)$$

де  $L$  – сумарна довжина зв'язків, яка оцінює якість розміщення об'єктів у межах групи з обмеженням по довжині найбільшого зв'язку;

$a_{ij}$  – число зв'язків  $i$  та  $j$  об'єктів з  $k_j$  в групі.

Знаходження екстремуму функції.

Екстремум функції якості знаходимо в  $2K_i$ -мірному паралелепіпеді

$$A_i^{(1)} \leq x_i \leq B_i^{(1)}, \quad A_i^{(2)} \leq y_i \leq B_i^{(2)}, \quad i = 1, 2, \dots, k_i.$$

Наносимо  $x_i, y_i; x_j, y_j$  – послідовні випадкові точки, в яких обчислюється значення критерію якості з рівномірним розподілом у  $2K_7$ -мірному паралелепіпеді, і  $R$  – радіус кулі з центром у точці з мінімальним значенням критерію якості для кожної пари точок.

$$R = \frac{|F(\bar{x}_1) - F(\bar{x}_2)|}{C},$$

де  $C = \text{const}$  критерій якості Ліпшиця [15]. Оцінюється методом довірчих інтервалів за попередньо обчисленими значеннями критерію якості в деякому числі випадкових точок. Умова критерію Ліпшиця для функції  $R$  в обмеженій області

$$|F(\bar{x}_1) - F(\bar{x}_2)| \leq C \|x_1 - x_2\| : \forall (x_1, x_2) \in \Omega \|x\|,$$

$$|F(\bar{x}_1) - F(\bar{x}_2)| \Leftrightarrow f(x_0 - 0) = f(x_0 + 0) = f(x_0) \Rightarrow C \leq \sup \|f'(x)\|.$$

У процесі знаходження екстремуму паралелепіпед покривається кульовими областями поки  $2K_7$ -мірний об'єм доповнення не виявиться менше заданого числа (число  $\delta$  – задана точність по аргументу). Міра доповнення оцінюється за методом Монте-Карло [16]. Суть методу полягає в процесі моделювання за допомогою багаторазового нанесення точок. Середня відстань між двома нанесеними точками в колі знаходиться осередненням відстаней в множині пар точок. На підставі отриманих даних обчислюються імовірнісні характеристики розв'язуваної задачі. Точність залежить від кількості точок  $N$

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{b-a}{N} \sum_{i=1}^N f(u_i).$$

Якщо міра доповнення до кульових областей стане менше заданого числа, то вихідна область замінюється перетином вихідного паралелепіпед з новим, у якого сторони в  $Q$  раз менше ( $Q$  – евристична  $\text{const}$ ) і центр якого знаходиться в оптимальній точці попереднього етапу пошуку. Далі пошук в новій області ведеться так само, як і в попередній, і вся викладена вище процедура повторюється до тих пір, поки значення критерію якості на двох послідовних етапах не стануть відрізнятися на величину меншу, ніж  $\epsilon$  ( $\epsilon > 0$  є точністю обчислення екстремуму).

Для формування точки в просторі пошуку визначаються орієнтація  $\beta$  кожного  $obj$  з обраної групи і його положення на площині. При визначенні орієнтації використовуються точки з рівномірним розподілом на відрізку  $(0,1) \rightarrow \text{id}(A_i, B_i)$

$$\begin{aligned}
 Or[(2\rho)+1] &= 1 \Leftrightarrow \max(a_i, b_i) \parallel X : I, \\
 Or[(2\rho)+1] &= 2 \Leftrightarrow \max(a_i, b_i) \parallel Y : I; \\
 A_i &= A - \max(a_i, b_i) : I, \quad B_i = B - \max(a_i, b_i) : I, \\
 x_i &= A_{i0} + A_i \rho_1, \quad y_i = B_{i0} + B_i \rho_2,
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

де  $\rho$  – випадкова величина відрізка  $(0,1)$ ;

$A_{i0}, B_{i0}$  – координати нижньої лівої вершини робочої зони для  $i$ -го елемента;

$x_i, y_i$  – координати центру  $i$ -го елемента;

$I$  – ознака орієнтації ( $Or$ );

$A_i, B_i$  – допустима зона координат.

Аналогічно виконуються операції для  $(i+1)$ -го елемента з подальшим перетином з  $i$ -ми елементами. Перетин двох прямокутників з паралельними сторонами є прямокутником (рис. 1).

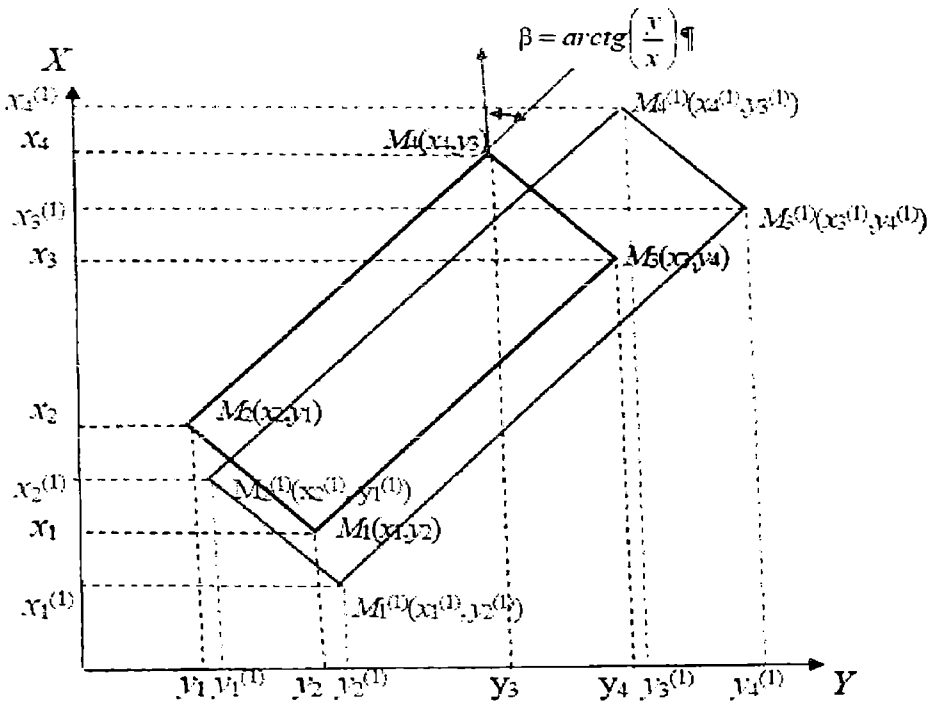


Рис. 1. Перетин двох прямокутників з паралельними сторонами

Джерело: Власна розробка авторів

$$\begin{cases} Cr_i = \{ M_1(x_1, y_2), M_2(x_2, y_1), M_3(x_3, y_4), M_4(x_4, y_3) \}, \\ Cr_i^{(1)} = \{ M_1^{(1)}(x_1^{(1)}, y_2^{(1)}), M_2^{(1)}(x_2^{(1)}, y_1^{(1)}), M_3^{(1)}(x_3^{(1)}, y_4^{(1)}), M_4^{(1)}(x_4^{(1)}, y_3^{(1)}) \}, \\ dec \Delta_1 > 0 \ \& \ dec \Delta_2 > 0, \end{cases}$$

$$\Delta_1 = (x_2^{(1)} - x_1)(x_2 - x_1^{(1)}), \quad \Delta_2 = (y_2^{(1)} - y_1)(y_2 - y_1^{(1)}),$$

де  $Cr_i, Cr_i^{(1)}$  – координати вершин прямокутників (Coordinates rectangle).

Якщо рішення *dec* (decision) не виконується, то визначаються орієнтація і координати наступного елемента і процедура повторюється. Фіксоване розміщення є  $2K_f$ -мірна точка для обчислення функції якості. Таким чином, при дискретному розміщенні *obj* число вузлів сітки, в які поміщаються центри елементів, можна порівняти з кількістю елементів. В таблиці 1 показані групи *obj* (розміщені і нерозміщені) для системи ІМН на ВВШ України.

Таблиця 1

Розміщені і нерозміщені групи *obj* для вхідних сигналів класів 1 – 6.

Кластери	<i>Opt m</i>	<i>Opt n</i>	$K_{\min}$	$\eta$	Дообладнання, %
WS	6	27	0,89	0,70	40
RIS		7	0,96	0,85	50
AIS		24	0,97	0,95	70
Inland radar (ГІКБ)		15	0,65	0,70	100
Inland ECDIS		98	0,85	0,70	50
GPS (DGPS→AIS)		24	0,95	0,65	70

**Джерело:** Власна розробка авторів

Повна розшифровка кластерів приводиться нижче.

Покрокова побудова осередків (*cell*) в розміщених групах *obj*:

$$RIS \rightarrow WS \rightarrow AIS \rightarrow GPS \rightarrow \text{Inland radar} \rightarrow \text{Inland ECDIS}.$$

$$\Omega_1 \|\overline{RIS}\| = \Omega_2 \|\overline{WS}\| = \Omega_3 \|\overline{AIS}\| = \Omega_4 \|\overline{GPS}\| = \Omega_5 \|\overline{IR}\| = \Omega_6 \|\overline{IE}\| : \Omega_1 \|\overline{RIS}\| = L. \quad (5)$$

$$\Omega_1 \|\overline{RIS}\| = \sum_{i=1}^{h+1} (\Omega_i^{(WS)} + \Omega_{\Delta i}^{(WS)}) = \sum_{j=1}^{24} \Omega_j^{(AIS)} : \Omega_1 \|\overline{RIS}\| - \sum_{j=1}^{24} \Omega_j^{(AIS)} = 0 : \Leftrightarrow \{ \}. \quad (6)$$

$$n_{\text{cell}} = a_{\text{cell}} b_{\text{cell}}. \quad I = Or[(n-I+1)p]+1, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad I_1 = Mod(I, a_{\text{cell}}),$$

$$I_2 = (I-I_1)/a_{\text{cell}} + 1, \quad x = a_{\text{cell}0} + (L_1 - 1)d_{\text{hor}}, \quad y = b_{\text{cell}0} + (L_2 - 1)d_{\text{ver}}.$$

$$I_1 = 0 \quad id \quad I_1 \Rightarrow I_1 = a_{\text{cell}},$$

де  $\Omega_1 \|\overline{RIS}\|$ ,  $\Omega_2 \|\overline{WS}\|$ ,  $\Omega_3 \|\overline{AIS}\|$ ,  $\Omega_4 \|\overline{GPS}\|$ ,  $\Omega_5 \|\overline{IR}\|$ ,  $\Omega_6 \|\overline{IE}\|$  – обмежені області дії *obj*;

$h$  – кількість судноплавних шлюзів;

$\Omega_i^{(WS)}$ ,  $\Omega_j^{(AIS)}$  – обмежені області дії одиночних *obj* WS і AIS;

$\Omega_{\Delta i}^{(WS)}$  – обмежена область дії додаткових WS;

$a_{cell}$  – рядність осередків по вертикалі;

$b_{cell}$  – рядність осередків по горизонталі;

$I$  – номер осередків;

$I_1$  – номер ряду по вертикалі;

$I_2$  – номер ряду по горизонталі;

$a_{cell 0}$ ,  $b_{cell 0}$  – координати першого осередку;

$d_{hor}$ ,  $d_{vert}$  – крок по горизонталі і крок по вертикалі.

Експертний аналіз виразів (5), (6) і таблиці 1 показує:

1) RIS – річкова інформаційна служба.

$\Omega_1 \|\overline{RIS}\|$  охоплює всю область суднового ходу на річці Дніпро.

$$M^{(RIS)} = M\{x_1^{(RIS)}, x_2^{(RIS)}, \dots, x_5^{(RIS)}\}, \quad (7)$$

де  $x_1^{(RIS)}$ ,  $x_2^{(RIS)}$ ,  $\dots$ ,  $x_5^{(RIS)}$  – служби RIS (інформація про фарватер, сповіщення, гідроспороди, рух, інша інформація).

$$x_1^{(RIS)} = M\{x_{11}^{(RIS)}, x_{12}^{(RIS)}, \dots, x_{17}^{(RIS)}\},$$

де  $x_{11}^{(RIS)}$ ,  $x_{12}^{(RIS)}$ ,  $\dots$ ,  $x_{17}^{(RIS)}$  – тактична інформація (рівні води, габарити суднового ходу, шляхова інформація, дані про ЗНО, стан фарватеру на ділянках, метеоумови, інша інформація).

Елементи  $x_2^{(RIS)}$ ,  $x_3^{(RIS)}$ ,  $x_{12}^{(RIS)}$ ,  $x_{13}^{(RIS)}$ ,  $x_{14}^{(RIS)}$ ,  $x_{15}^{(RIS)}$  – відносяться до автоматизованої коректури (AK) ENC  $\rightarrow$  SENC з використанням мережі Internet і E-mail. Таким чином

$$\Omega(AK) = \Omega\{x_2^{(RIS)}, x_3^{(RIS)}, x_{12}^{(RIS)}, x_{13}^{(RIS)}, x_{14}^{(RIS)}, x_{15}^{(RIS)}\} \in \Omega_1 \|\overline{RIS}\|.$$

Реалізація AK Inland ENC здійснюється ДП «Держгідрографія».

Однак, до теперішнього часу проблема  $\overline{AK}_{ENC} \rightarrow \overline{AK}_{SENC}$  не вирішена.

2) WS – водомірний пост (water station).

$$D_1 < \Omega_i^{(WS)} < D_2, \quad \Omega_j^{(AIS)} \in \Omega_i^{(WS)}, \quad \int_{D_1}^{D_2} f(x) dx, \quad x = K_1 \Omega_j^{(AIS)} = K_2 \Omega_i^{(WS)}, \quad (8)$$

де  $D_1$ ,  $D_2$  – відстань від гирла річки до судноплавних шлюзів (вгору за течією).

Для елемента  $x_{11}^{(RIS)}$  крім обчислення поправок до глибин вручну запропоновано автоматизоване отримання диференціальних поправок до вимірних глибин  $h(t)$ , які позначені на SENC, відповідно до повного виразу

$$h(t) = \frac{1}{\underbrace{\det(pE - A)}_{(c)_{i,j}}} S(p) \cdot B + \underbrace{y_{01WS} + h_{10}}_{const} + \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|, \quad (9)$$

де  $\det(pE - A)$  – степеневий поліном змінної Лапласа  $p$  порядку  $n$  (з використанням: матриці стану  $A$ , одиничної матриці  $E$ , характеристичної матриці  $(pE - A)$ ;

$S(p)$  – союзна матриця;

$y_{01WS}$  – значення рівня води по першому водомірному посту;

$h_{10}$  – постійна складова, що дорівнює можливим змінам нуля глибин 1WS відносно абсолютної системи висот;

$(\delta y_{01WS})_{i,1}$  – миттєвий рівень води відносно  $y_{01WS}$ .

Тим самим усувається невизначеність ситуаційної динаміки у  $n$ -мірному просторі руху судна при ІМН. Технічна реалізація методу викладена в [17].

### 3) GPS – Global Positioning System.

$$M_{\text{визн}} = m_p \sec h_{\text{сеп}} \cdot \sqrt{\frac{3}{\sum \sin^2 \Delta A}} = m_p \cdot G, \quad G = \sec h_{\text{сеп}} \cdot \sqrt{\frac{3}{\sum \sin^2 \Delta A}}, \quad (10)$$

де  $G$  – геометричний фактор. Для р. Дніпро  $1,5 < G < 5$ .

$$M_{\text{GPS}} = 5\text{-}30 \text{ м}, M_{\text{DGPS}} = 1\text{-}5 \text{ м}, M_{\text{ГЛОНАСС}} = 20\text{-}35 \text{ м при } P = 95 \text{ \%}.$$

Точність визначення місцезнаходження при русі суден  $M_{\text{визн}} < 10$  м. Таку точність можна отримати при  $M_{\text{GPS}} = 1\text{-}5$  м.

### 4) AIS → DGPS.

Використання режиму диференціальної корекції GPS (DGPS) пропонується здійснювати через автоматичні ідентифікаційні системи AIS автоматизованих постів RIS. Математична модель полягає у наступному.

*Перший спосіб.* При використанні двох антен GPS (AIS) (GPS входять до складу кожної AIS), отримуємо інформацію про їх місцезнаходження по сигналах GPS. Антени GPS (AIS) розташовані на відомій відстані одна від одної. У цьому випадку виникає необхідність оцінки достовірності інформації про координати судна з метою їх подальшого використання при побудові траєкторії руху або зони його навігаційної безпеки. Оскільки відстань між антенами GPS відома з високою точністю, то обчислену геодезичними методами  $b_{\text{GEOD}}$  відстань між ними можна порівнювати з дійсним значенням за GPS-координатами  $b_{\text{GPS}}$ .

Для оцінки ступеня достовірності координат, отриманих одночасно від двох рознесених приймачів GPS (AIS), слід розрахувати довірчий інтервал із заданою надійністю і потім використовувати межі інтервалу для визначення грубих помилок у визначенні координат на об'єкті, що рухається. Для усунення постійної помилки у визначенні місця розташування використовується навігаційний режим роботи Inland ECDIS з

накладенням радарного відображення. Відповідно до цього пояснимо принцип визначення  $b_{GPS}$  при використанні двох антен GPS (AIS) з врахуванням багатозначності (рис. 2)

$$\delta D = D_{A1} - D_{A2}, \quad \delta D = f(\Delta\Phi) = f(\Delta\psi + n) = f(\Delta\psi) \cdot \delta D = \lambda \cdot \Delta\Phi \Rightarrow \delta D = \lambda \cdot \Delta\psi,$$

$$\left. \begin{array}{l} \delta D \\ h_S \\ b_{GPS} \end{array} \right\} \rightarrow \begin{cases} A_2 F = \delta D \cosh_S, \\ q_S = \arccos \frac{A_2 F}{b_{GPS}} \rightarrow \omega = \frac{d\eta}{dt}, \quad \eta = \delta_{GPS1} - \delta_{GPS2}, \\ \delta_{GPS} = A_S - q_S, \\ tg \delta = \Delta\lambda \frac{\varphi_{CP}}{\Delta\varphi}, \quad b_{GPS} = \sqrt{\Delta\varphi^2 + (\Delta\lambda \cos \varphi_{CP})^2} = \frac{\Delta\varphi}{\cos \delta}, \\ \varphi_{CP} = 0,5 \cdot (\varphi_1 + \varphi_2) = \varphi_1 + 0,5 \cdot \Delta\varphi, \quad \Delta b = b_{GPS} - b_{GEOD}. \end{cases} \quad (11)$$

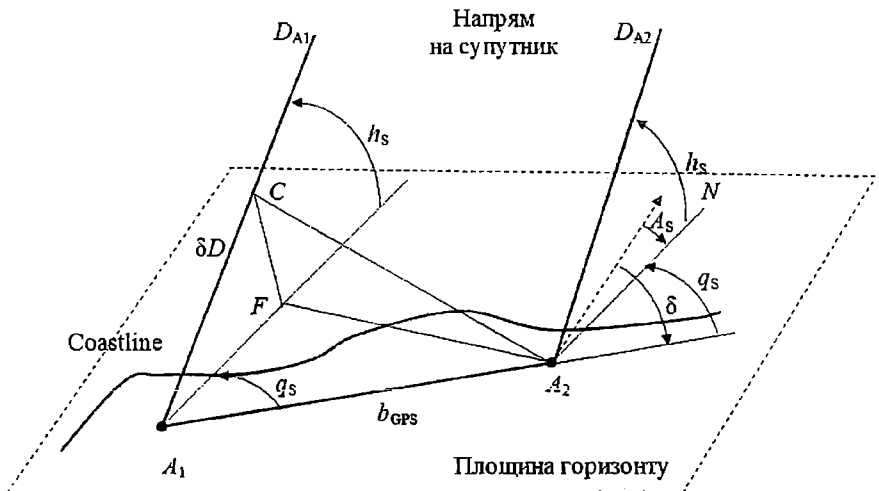


Рис. 2. Визначення  $b_{GPS}$  при використанні двох антен GPS (AIS)

Джерело: Власна розробка авторів

Другий спосіб. Спосіб полягає в обчисленні поправок  $\delta D_1$  безпосередньо в береговій AIS при використанні ENC в системі координат WGS-84.

$$\begin{aligned} \delta D_1 &= \overline{M}_{GPS} - \overline{M}_{GEOD} = \\ &= \sqrt{(\phi_{GPS} - \phi_{GEOD})^2 + \left[ (\lambda_{GPS} - \lambda_{GEOD}) \cdot \cos \frac{\phi_{GPS} + \phi_{GEOD}}{2} \right]^2} = \\ &= \frac{\phi_{GPS} - \phi_{GEOD}}{\cos K}, \end{aligned} \quad (12)$$

де  $K$  – локсодромічне направлення.



Спосіб передбачає доопрацювання програмного забезпечення кожної берегової AIS.

Разом з тим слід зазначити, що вищевикладені способи диференціальної корекції інформації відносяться до методу корекції координат, коли на станції і судні спостереження здійснюються за допомогою одних і тих же штучних супутників Землі (ШСЗ). Потім в якості диференціальних поправок з базової станції поправки передаються до вимірних у визначеному пункті координат. Недоліком цього методу є те, що приймачі сигналів GPS повинні працювати по одному робочому сузір'ю ШСЗ, що призводить до зниження точності.

У методі корекції навігаційних параметрів (НП) визначаються поправки до вимірюваних НП (наприклад, псевдодальностей) для всіх ШСЗ, які потенційно можуть бути використані споживачами. Поправки передаються на пункти, які визначаються, де безпосередньо в GPS-приймачі обчислюються поправки до координат. У багатьох країнах світу вже діє розвинена мережа DGPS-станцій, які постійно транслюють поправки на визначену територію. Наприклад, у прибережній зоні Північної Америки це WAAS (Wide area augmentation system), Європи – EGNOS (European geostationary navigation over lay service), Японії – MSAS (Multi-functional satellite augmentation system) [18]. Система EGNOS поки не має наземних станцій в Україні, що означає неможливість її застосування на річці Дніпро. Ще однією проблемою є низький кут перевищення супутників EGNOS над горизонтом.

5) Inland radar.

Існуючі проблеми для використання Inland radar в річковій e-навігації.

а) Inland radar повинен бути обов'язковим датчиком інформації Inland ECDIS (навігаційний режим) [19];

б) повинен відповідати основним експлуатаційним і технічним характеристикам для використання на ВВШ

$$(P \geq 0.8, D_{\min} \leq 15 \text{ м}, D_{\max} > 1200 \text{ м}, \delta D \leq 15 \text{ м}, \\ a \leq 0,8^\circ, b_{\text{ант}} < 15^\circ, M_D \leq 10 \text{ м}, M_A \leq |\pm 1^\circ|);$$

с) у районах з великим впливом рівня води  $h(t)$  на конфігурацію берегової смуги встановлюються пасивні кутові відбивачі (ПКВ);

д) для збільшення точності вимірювання НП в Inland radar у роботі [20] розроблений алгоритм і схема розпізнавання зображень (SO, S1) змінної *Map*, змінної *Radar* по куту повороту зображення  $\alpha$  ( $\alpha_\Omega, \beta_\Omega = \alpha_i$ ), відмінності змінних за масштабом  $\mu$  ( $\alpha_\Omega, \beta_\Omega = \mu_i$ ) і кореляційної функції

$$D_{S,e} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^L (S0_{k,i} \cdot S1_{k,i})}{K_{S,t}},$$

де  $K_{s,l} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L SO_{k,l}$  – нормувальний коефіцієнт у вигляді послідовних

кроків накладення і відображення на дисплеї цих трьох елементів.

Для оцінки ефективної поверхні відбиття (ЕПВ) радіолокаційного об'єкта під будь-яким кутом вираз (13) доповнюється коефіцієнтами радіолокаційного відображення  $\delta\Delta$ . Величина  $\delta\Delta$  вимірюється Inland radar або оцінюється на основі апріорно відомої інформації про поверхню або вимірюється РЛС, призначеними для вимірювання характеристик розсіювання радіохвиль. Такими характеристиками можуть бути діаграми відображення – залежності параметрів матриці розсіювання від кута падіння зондуючого сигналу і пеленга від РЛС [20]. Вираз (13) відображений у вигляді матриці (тензора), кожний елемент якого – трикомпонентний.

$$T = \left( \begin{array}{ccc} \left( \begin{array}{c} x \\ y \\ \delta_{0,0} \end{array} \right) & \left( \begin{array}{c} x + d \\ y \\ \delta_{0,1} \end{array} \right) & \left( \begin{array}{c} x + M d \\ y \\ \delta_{0,M} \end{array} \right) \\ \left( \begin{array}{c} x \\ y + d \\ \delta_{1,0} \end{array} \right) & \left( \begin{array}{c} x + d \\ y + d \\ \delta_{1,1} \end{array} \right) & \left( \begin{array}{c} x + M d \\ y + d \\ \delta_{1,M} \end{array} \right) \\ \left( \begin{array}{c} x \\ y + N d \\ \delta_{N,0} \end{array} \right) & \left( \begin{array}{c} x + d \\ y + N d \\ \delta_{N,1} \end{array} \right) & \left( \begin{array}{c} x + M d \\ y + N d \\ \delta_{N,M} \end{array} \right) \end{array} \right), \quad (13)$$

де  $T$  – тензор у вигляді трьох  $(N+1) \times (M+1)$  – мірних матриць;

$d$  – шаг карти, який визначає її точність. При  $d \rightarrow d_{min}$  збільшується щільність заповнення простору ENC, тобто карта стає більш достовірною;

$X$  з компонентами  $(x + jd)$ ,  $j = 0 \dots M$  – координати на осі  $OX$  ( $\rightarrow N$ );

$Y$  з компонентами  $(y + kd)$ ,  $k = 0 \dots N$  – координати на осі  $OY$  ( $\rightarrow E$ );

$\Delta$  з компонентами  $\delta_{i,k}$  – відповідають коефіцієнтам відображення.

На SENC автоматично виділяються опорні сегменти поверхні з підвищеною ЕПВ і радіолокаційною контрастністю (мости, берегові ориєнтири, дамби, установлені кутові відбивачі), автоматично здійснюється прив'язка об'єктів і точки позиціонування судна.

б) Inland ECDIS. Існуючі проблеми для використання Inland ECDIS в річковій е-навігації:

а) навігаційна інформація про всі картографічні об'єкти, включаючи *obj*, повинна достовірно відображатися на SENC. Це в першу чергу досягається збільшенням кількості перевидань і коректури Inland ENC. Так, наявні Inland ENC на р. Дніпро 10-12 річної давності.

Довіряти значенням глибин, особливо за кромкою суднового ходу, означає наражатися на небезпеку або вдаватися до небезпечного самообману. Зазначені глибини, як правило, не достовірні. У таблиці 2 наведені дані про кількість перевидань Inland ENC і тривалість їх дії на основних ВВШ Західної Європи і США [12]. Звертає на себе увагу факт частих перевидань Inland ENC у США. Середній вік карт складає близько одного року. На ВВШ США плавуча система навігаційного обладнання застосовується лише в деяких місцях, а берегові ЗНО майже відсутні. Такий підхід можна пояснити використанням ІМН і практично повною відмовою від лоцманського методу судноводіння (р. Міссісіпі).

б) у зв'язку з тим, що відомості про масиви глибин швидко втрачають актуальність, ефективним є використання Inland ENC із заданим фарватером ( $F$ ) з гарантованими габаритами ширини, глибини і радіусом заокруглення, що реалізовано в Європі і США (табл. 3, рис. 3, 4) [12].

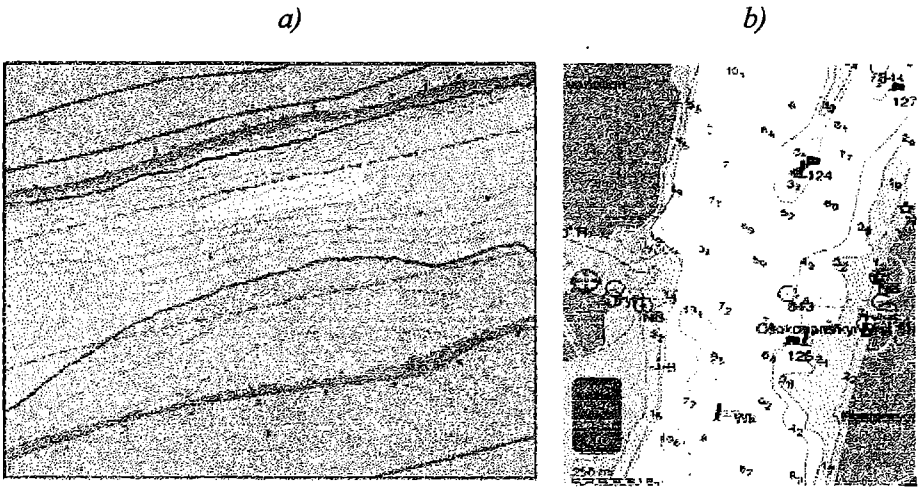
*Таблиця 2*

*Відомості про кількість перевидань Inland ENC у різних країнах*

Країна, водний шлях	Кількість видань	Використання останнього видання
Німеччина, Дунай	6	1,6
Німеччина, Рейн	3-9	0,5-4,6
Болгарія, Дунай	1	1,3
Австрія, Дунай	5	2,5
Румунія, Дунай	1	0,3
Швейцарія, Рейн	2	5,5
Словаччина, Дунай	1	3,5
Хорватія, Дунай	1	3,3
США, Міссісіпі	19-52	0,8-1,3
США, Міссурі	5-8	0,8-1,3
США, Огайо	8-26	1-1,2

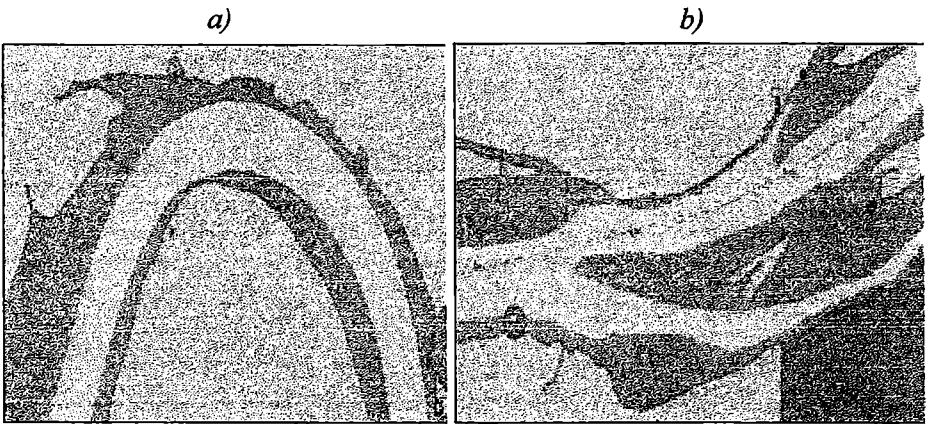
с) незважаючи на значні досягнення в галузі електронної картографії, обов'язковими для використання на ВВШ залишаються тільки паперові річкові навігаційні карти.

д) при ІМН з метою забезпечення безпеки судноплавства найбільш небезпечні ділянки огорожуються окремими плавучими ЗНО (рис. 4 б). Окремі ЗНО повинні охоплюватися автоматизованою системою моніторингу із застосуванням AIS.



*Рис. 3. Відображення Inland ENC:  
а) ENC Австрії (р. Дунай) без відміток глибин;  
б) ENC України з деталізованим масивом глибин*

**Джерело:** Власна розробка авторів



*Рис. 4. Фрагменти осередків Inland ENC:  
а) ENC 5C7D1379 (р. Дунай) з гарантованими габаритами F;  
б) ENC U35UM359 (р. Міссісіпі). Мілини не огорожені*

**Джерело:** Власна розробка авторів

Таблиця 3

Відомості про стан водних шляхів на IENC різних країн

Країна	Inland ECDIS	$h \in$ IENC	Const $h \in$ IENC	$F$	$h \in F$	$\Omega(h)$
Нідерланди	+	-	-	+	-	1
Німеччина	+	-	-	+	+	1-2
Швейцарія	+	-	-	+	+	1-2
Словаччина	+	-	-	+	+	1-2
Австрія	+	-	+	+	-	> 2
Хорватія	+	-	-	+	+	2
Болгарія	+	-	-	+	+	2
Румунія	+	-	-	+	+	2
США	-	-	+	-	-	2
Росія	-	+	+	-	-	2

На рис. 5 показані пронумеровані осередки для ділянки Нижнього Дніпра від Каховської ГЕС до с. Львове (ENC UA7N0071).

Умови:

$$\Omega\{I_1, I_2, I_6, I_7, I_{11}, I_{12}, I_{16}\} \in \Omega\{\|\overline{RIS}\|, \|\overline{WS}\|, \|\overline{AIS}\|, \|\overline{GPS}\|, \|\overline{IR}\|, \|\overline{IE}\|\}:$$

$$:\Omega\|\overline{WS}\| = \Omega_1\|\overline{WS}_1\| + \Omega_2\|\overline{\Delta WS}_2\|.$$

Ця ділянка є найскладнішою для судноплавства і характеризується перекатами з можливими лімітованими глибинами  $h < 3,65$  м [21]. Ділянка знаходиться в зоні дії WS «Каховська ГЕС – н/б». Для отримання  $h(t)$  за виразом (8) наносимо додатковий *obj*  $\Delta WS$ . Відповідно до прийнятого допущення про прямокутні конфігурації оболонок *obj* фіксуємо об'єкти WS у вузлових точках прямокутників в оболонці AIS-RIS. Розміщення фіксується з мінімальним значенням критерію якості  $K_{\min}$  за виразом (2). З огляду на низьку ЕПВ берегової смуги при проході даної ділянки у вузлі осередку № 6 встановлюємо ПКВ на о. Львівський. Висновок: при річковій *e*-навігації по судовому ходу від 0 км р. Рвач до Каховської ГЕС, крім додаткової установки *obj*  $\Delta WS$  і ПКВ, установка берегових і плавучих ЗНО не буде потрібна. Обов'язкова умова: повинен бути проведений комплекс заходів по радіолокаційному опису узбережжя.

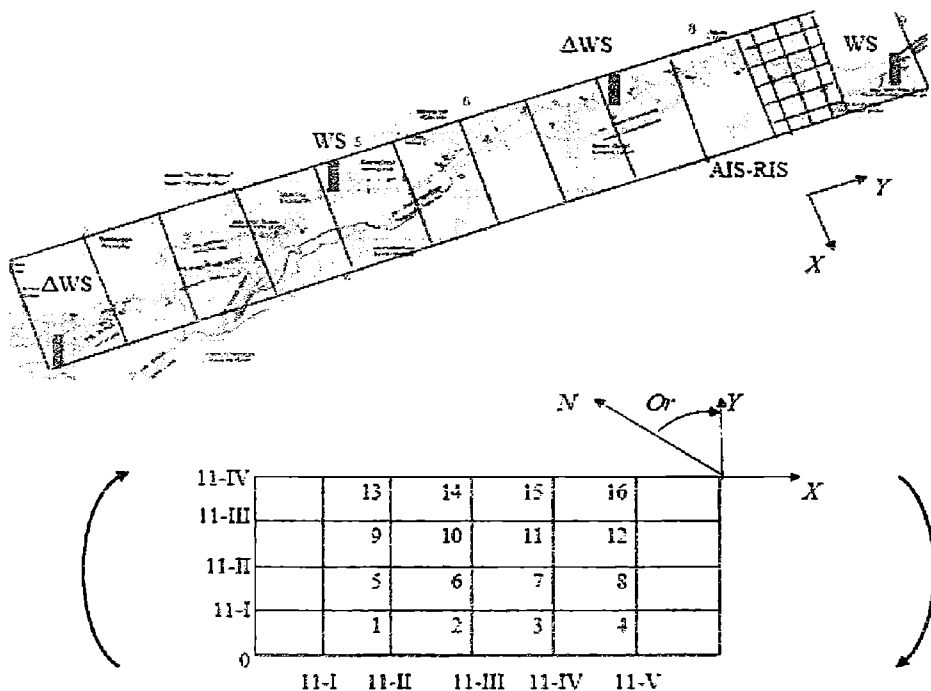


Рис. 5. Пронумеровані осередки для ділянки від Каховської ГЕС до с. Львове (ENC UA7N0071).

Джерело: Власна розробка авторів

**Висновки.** Вирішена задача оптимізації розташування засобів навігаційного обладнання в умовах сучасного методу річкової е-навігації, що сприятиме вирішенню прикладних задач для підвищення безпеки руху водного транспорту з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи й обороноздатності України. Проведені експерименти підтвердили адекватність запропонованого методу і дозволяють рекомендувати його для використання на практиці при вирішенні задач застосування річкової е-навігації на внутрішніх водних шляхах України. Перспективи подальших досліджень можуть полягати у створенні послідовних методів розрахунку комплексу запропонованих показників, оптимізації їхніх програмних реалізацій, а також в експериментальному дослідженні запропонованих методів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Patraiko D. Introducing the e-Navigation revolution // Seaways. – 2007. – № 12. – P. 121-126.*
2. *Mitropoulos E. E-navigation: a global resource // Seaways. – 2007– № 12. – P. 85-91.*
3. *Resolution IMO MSC 85/26 /Add.1 Annex 20 «Strategy for the development and implementation of e-Navigation».*
4. *Максимов С. Е-навигация и безэкипажное судовождение. Электронный журнал Docplayer [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docplayer.ru/40728469-E-navigaciya-i-bez-ekipazhnoe-sudovozhdenie-sergey-maksimov-direktor-obosoblenogo-podrazdeleniya-tranzas-navigator.html> (дата звернення 27.08.2018).*
5. *Borup O. (2012). One report for each of the e-Navigation components Date. e-Navigation Underway. International Conference on e- Navigation. m/s Crown of Scandinavia, 2012. Jointly organized by the EfficienSea project and the IALA. Supported by the Nautical Institute and the International Association for Marine Electronics Companies. Conference Report, 9. Access mode: [http://efficiensea.org/files/mainoutputs/wp4/efficiensea\\_wp4\\_16.pdf](http://efficiensea.org/files/mainoutputs/wp4/efficiensea_wp4_16.pdf) (application date 27.08.2018).*
6. *Zeiler W. (2017). E Navigation, ECDIS & Autonomous Ships. [Electronic resource]. Access mode: <https://safety4sea.com/tag/ecdis/?sortby=recent&thecategory=2071> (application date 27.08.2018).*
7. *Card M. (2014). e-Navigation, The Continuous Development of the Concept of the Future. ACCSEAS Conference, Report, 1-8. [Electronic resource]. Access mode: <http://www.accseas.eu/> (application date 27.08.2018).*
8. *Valette J. (2015). D2.4 Analysis report on available and emerging communications technologies. Project acronym: EfficienSea2. [Electronic resource]. Access mode: [https://efficiensea2.org/wp-content/uploads/2016/05/Efficiensea2\\_Analysis-report-on-emerging-communication-technologies-deliverable2.4.pdf](https://efficiensea2.org/wp-content/uploads/2016/05/Efficiensea2_Analysis-report-on-emerging-communication-technologies-deliverable2.4.pdf) (application date 27.08.2018).*

9. Porathel T., Sik, J. Ship traffic management route exchange: acceptance in Korea and Sweden, a cross cultural study. Published in the Proceedings of the International Symposium Information on Ships, ISIS 2014. Hamburg 4-5 September, 64-79. ISSN 2191-8392. [Electronic resource]. Access mode: <http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/stm-stmvalidation/uploads/20171122153409/Porathe-et-al-paper-ISIS-2014-FINAL.pdf> (application date 27.08.2018).
10. Структурне моделювання та символні перетворення для управління рухом транспортних засобів / В.В. Панін та ін. – К., 2014. – 310 с.
11. Доронін В.В. Методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту засобами електронно-картографічної інтелектуалізації. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – К.: КДАВТ, 2016. – 277 с.
12. Каретников В.В. Перспективи розвитку електронних навігаційних карт внутрішніх водних шляхів Російської Федерації // Річковий транспорт (XXI століття). – Вып. № 17. – СПб., 2014. – С. 30-33.
13. Вагущенко Л.Л. Современные информационные технологии в судовождении. – Одесса: ОНМА, 2013. – 135 с.
14. Волков А.Б. Новые инфокоммуникационные системы для внутреннего водного транспорта // Морская биржа. – Вып. 2 (27). – СПб.: Принт-Экспо, 2009. – 35-38 с.
15. Вержбицкий В.М. Основы численных методов: Учебник [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mathhelpplanet.com/viewtopic.php?f=34&t=3814> (дата звернення 27.08.2018).
16. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло в вычислительной математике. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docplayer.ru/25996972-S-m-ermakov-metod-monte-karlo-v-vuchislitelnoy-matematike-vvodnyu-kurs.html> (дата звернення 27.08.2018).
17. Доронін В.В. Методи реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах // Вісник Одеського національного морського університету. – № 1 (54). – Одеса, 2018. – С. 158-181.
18. Доронін В.В. Радіонавігаційні прилади та системи: Посібник для вищих морських навчальних закладів. – К.: КДАВТ, 2007. – 472 с.



19. Гагарский Д.А. *Электронные картографические системы в современном судовождении*. – СПб.: ГМА им. адм. Макарова. – 2012. – 132 с.
20. Доронін В.В. *Метод розширення функціональних можливостей ECDIS/Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування з РЛС у режимах контролю і діагностування // Водний транспорт: Зб. наук. праць*. – К.: КДАВТ, 2015. – Вип. 2(23). – С. 26-36.
21. Завітаєв В.Л. *Правила плавання на внутрішніх водних і прибережних морських шляхах України: Навч. посібник*. – К.: ДУІТ, Київський інститут водного транспорту ім. гетьмана Петра-Конашевича Сагайдачного, 2018. – 248 с.

*Стаття надійшла до редакції 20.11.2018*

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, ректор Державного університету інфраструктури та технологій, Заслужений діяч науки і техніки України **В.В. Панін**

к.т.н., доцент, завідувач кафедри Технічних систем і процесів управління в судноводінні Державного університету інфраструктури та технологій **О.В. Маранов**

УДК 620:178.3

**УТОЧНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
ДЛЯ ОБЪЕКТОВ С НИЗКИМИ ПРЕДЕЛАМИ ВЫНОСЛИВОСТИ**

**А.В. Коноплёв**

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Машиноведение»

**О.Н. Кононова**

ст.преподаватель кафедры «Машиноведение»

**А.Г. Кобаков**

к.т.н., доцент кафедры «Машиноведение»

*Одесский национальный морской университет*

***Аннотация.** Проведен анализ факторов, влияющих на точность оценки коэффициента относительной долговечности. В качестве исходных данных для его проведения были использованы корреляционные зависимости между параметрами степенного уравнения наклонного участка кривой усталости и пределом выносливости.*

*Показано, что систематическая погрешность определения коэффициента относительной долговечности минимальна для объектов с пределами выносливости, находящимися в интервале напряжений 300-500 МПа. Для объектов с низкими значениями пределов выносливости (до 300 МПа) необходима его корректировка.*

*Предложен подход, позволяющий корректировать величину данного коэффициента за счёт уточнения положения точки пересечения наклонных участков кривых усталости.*

***Ключевые слова:** коэффициент относительной долговечности, предел выносливости, кривая усталости.*

**УТОЧНЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВІДНОСНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ  
ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ З НИЗЬКИМИ МЕЖАМИ ВИТРИВАЛОСТІ**

**А.В. Конопльов**

д.т.н., професор, завідувач кафедри «Машинознавство»

**О.М. Кононова**

ст.викладач кафедри «Машинознавство»

**О.Г. Кібаков**

к.т.н., доцент кафедри «Машинознавство»

*Одеський національний морський університет*

***Анотація.** Проведено аналіз факторів, що впливають на точність оцінки коефіцієнта відносної довговічності. В якості вихідних даних для його проведення були використані кореляційні залежності між параметрами степеневого рівняння похилої ділянки кривої втоми і границею витривалості.*

Доведено, що систематична похибка визначення коефіцієнта відносної довговічності мінімальна для об'єктів з границями витривалості, що знаходяться в інтервалі напруг 300-500 МПа. Для об'єктів з низькими значеннями границь витривалості (до 300 МПа) необхідно його коригування.

Запропоновано підхід, який дає можливість коригувати величину даного коефіцієнта за рахунок уточнення положення точки перетину похилих ділянок кривих втоми.

**Ключові слова:** коефіцієнт відносної довговічності, границя витривалості, крива втоми.

UDC 620:178.3

### SPECIFICATION OF THE COEFFICIENT OF RELATIVE LONGEVITY FOR OBJECTS WITH LOW ENDURANCE LIMITS

**A.V. Konoplev**

Doctor of technical sciences, Professor, head of the department «Machine Science»

**O.N. Kononova**

Senior lecturer of the department «Machine Science»

**A.G. Kibakov**

Ph.D., associate Professor of the department «Machine Science»

*Odessa National Maritime University*

**Abstract.** *The analysis of factors influencing the accuracy of the estimation of the coefficient of relative durability is carried out. As initial data for its implementation, correlation dependencies between the parameters of the power equation of the oblique portion of the fatigue curve and the endurance limit were used.*

*It is shown that the systematic error in determining the coefficient of relative longevity is minimal for objects with endurance limits that are in the stress range 300-500 MPa. For objects with low values of the endurance limit (up to 300 MPa), its correction is necessary.*

*An approach is proposed that allows to adjust the value of this coefficient due to the refinement of the position of the intersection point of the inclined sections of the fatigue curves.*

**Keywords:** *coefficient of relative longevity, endurance limit, fatigue curve.*

**Постановка проблеми.** В работе [1] был рассмотрен вопрос о соотношении долговечностей до разрушения объектов, подвергнутых сравнительным испытаниям на сопротивление усталости при одинаковом уровне циклических напряжений, и получена следующая зависимость:

$$\frac{\lg N_1 - \lg N_2}{\lg N_2} = k_\gamma, \quad (1)$$

где  $N_1$  и  $N_2$  – долговечности до разрушения двух объектов, испытанных при одинаковом циклическом напряжении;

$k_\gamma$  – коэффициент относительной долговечности.

Для описания зависимости долговечности до разрушения от величины напряжения было принято степенное уравнение, которое в общем случае записывается в виде

$$\sigma^{m_C} N = \sigma_R^{m_C} N_G = \sigma_{dC}^{m_C} = 10^{C_C}, \quad (2)$$

где  $\sigma_R$  – предел выносливости;

$\sigma_{dC}$  – начальная ордината наклонного участка кривой усталости в логарифмической системе координат;

$\sigma$  и  $N$  – текущие напряжения и долговечность до разрушения соответственно;

$N_G$  – абсцисса точки перелома кривой усталости;

$m_C$  и  $C_C$  – параметры, значение которых можно определить с помощью корреляционных зависимостей [2]

$$m_C = f_C(\sigma_R) = a_C \sigma_R + b_C; \quad (3)$$

$$C_C = F_C(\sigma_R) = \alpha_C (m_C + 1) \lg \sigma_R + \beta_C, \quad (4)$$

где  $a_C$ ,  $b_C$ ,  $\alpha_C$  и  $\beta_C$  – эмпирические коэффициенты, которые были приняты равными

$$a_C = 0,027; b_C = 1,4; \alpha_C = 0,997; \beta_C = 4,25.$$

Зависимость (1) справедлива в случае, когда параметр  $\sigma_{dC}$  одинаков для сравниваемых кривых усталости. Другими словами эти кривые усталости, не зависимо от предела выносливости, должны иметь общую начальную ординату в логарифмической системе координат. Исходные данные в виде формул (2)-(4) позволяют получить зависимость параметра  $\sigma_{dC}$  от предела выносливости  $\sigma_R$ , и установить тенденцию изменения коэффициента  $k_\gamma$  в рамках всего диапазона реальных значений  $\sigma_R$ .

**Цель и задачи исследования.** Целью статьи является определение диапазона значений пределов выносливости, для которого коэффициент относительной долговечности  $k_\gamma$  стабилен, а также разработка подхода к корректировке данного коэффициента в диапазоне значений  $\sigma_R$ , в котором она необходима.

**Основной материал исследования.** Чтобы установить тенденцию изменения параметра  $\sigma_{dC}$  в зависимости от предела выносливости, запишем выражение для его определения, пользуясь зависимостями (2), (3) и (4)

$$\sigma_{dC} = \left[ 10^{\alpha_C(m_C+1)\lg\sigma_R + \beta_C} \right]^{\frac{1}{a_C\sigma_R + b_C}} \quad (5)$$

Задавая ряд значений пределов выносливости в реальном диапазоне его изменения (100-500 МПа), определим по формуле (5) величины параметра  $\sigma_{dC}$  (табл. 1). Для наглядности представим результаты расчёта также в виде соответствующего графика (рис. 1).

Таблица 1

Расчётные значения параметров  $m_C, C_C, \sigma_{dC}$

$\sigma_R, \text{МПа}$	100	200	300	400	500
$m_C$	4,10	6,80	9,50	12,20	14,90
$C_C$	14,29	22,15	29,93	38,25	46,80
$\sigma_{dC}, \text{МПа}$	3287,96	1804,95	1502,77	1429,53	1434,62
$\lg\sigma_{dC}$	3,52	3,26	3,18	3,16	3,16

Из приведенного на рис. 1 графика видно, что величина  $\sigma_{dC}$  сначала круто уменьшается до значения предела выносливости равного примерно 300 МПа, а затем становится практически постоянной. График не даёт информации о том, где реально пересекаются кривые усталости между собой. Тем не менее, смещение точек пересечения, особенно при низких значениях пределов выносливости, оказывает влияние на погрешность оценки коэффициента относительной долговечности по формуле (1).

В связи с этим более информативной будет зависимость  $\lg\sigma_{dC}$  от  $\lg N$ , которая позволяет, кроме того, наблюдать тенденцию смещения точек пересечения кривых усталости друг с другом (рис. 2).

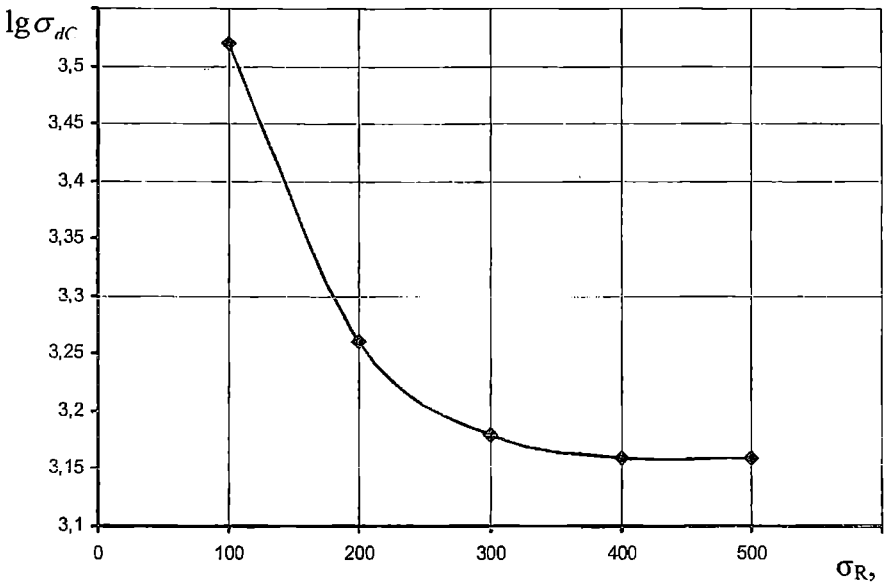


Рис. 1. Зависимость  $\lg \sigma_{dC} - \sigma_R$

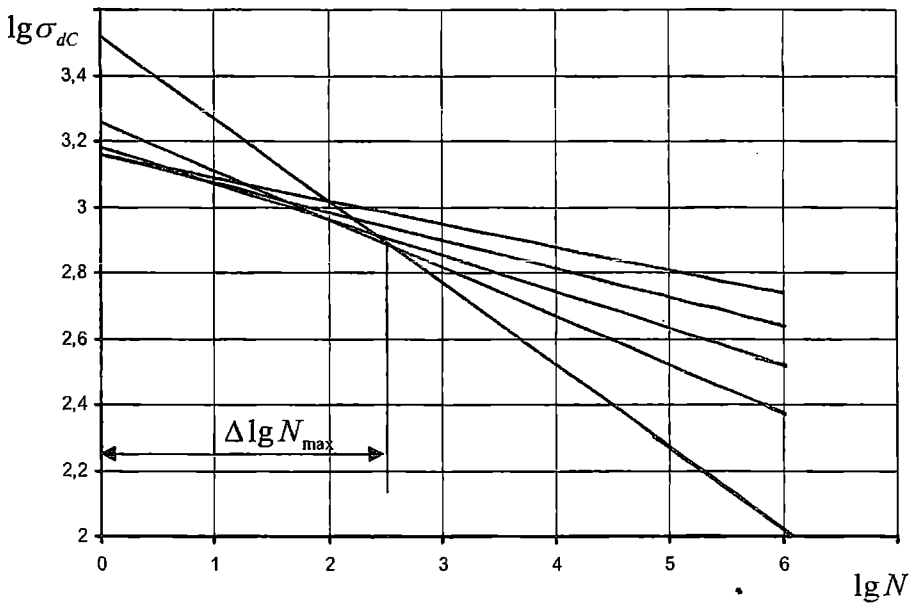


Рис. 2. Семейство наклонных участков кривых усталости в координатах  $\lg N - \lg \sigma$

Приведенный выше график позволяет определить интервал точек пересечения  $\Delta \lg N_{\max}$ . Крайняя левая абсцисса равна нулю, поскольку ордината  $\lg \sigma_{dC}$  для двух значений предела выносливости ( $\sigma_R = 400$  МПа и  $\sigma_R = 500$  МПа), как видно из табл. 1, является общей. Значение крайней правой абсциссы определим, решая систему двух уравнений, составленных для пределов выносливости 100 МПа и 200 МПа с учётом данных табл. 1 и зависимости (2), т.е.

$$\begin{cases} 4,1 \lg \sigma + \lg N = 14,29 \\ 6,8 \lg \sigma + \lg N = 22,15 \end{cases}$$

откуда  $\lg N = 2,35$  ( $N = 224$  цикла).

Несмотря на столь незначительное смещение абсцисс точек пересечения наклонных участков кривых усталости, их начальные ординаты изменяются в достаточно широком диапазоне, который составляет 1866 МПа. Диапазон значений  $\Delta \lg \sigma_{dC}$  формируется, как видно из рисунка 2, путём определённого сочетания кривых усталости. Очевидно, что при сравнении начальных ординат кривых усталости, пределы выносливости которых близки, например, при проведении сравнительных испытаний объектов, их отличие будет тем меньше, чем меньше разница между их пределами выносливости. В этом случае коэффициент относительной долговечности  $k_\gamma$  будет определён с большей точностью, однако некоторая систематическая погрешность сохранится. Свести к минимуму эту погрешность можно за счёт определения смещения абсциссы  $\Delta \lg N$  (рис. 1). В этом случае (1) уравнение запишется в виде

$$k_\gamma = \frac{\lg N_1 - \lg N_2}{\lg N_2 - \Delta \lg N} \quad (6)$$

Значение  $\Delta \lg N$  можно выразить через параметры  $m_C$  и  $C_C$ , решая систему двух уравнений (2), записанных для двух наклонных участков кривых усталости, пересекающихся в одной точке т.е.

$$\begin{cases} m_{C1} \sigma + \Delta \lg N = C_{C1} \\ m_{C2} \sigma + \Delta \lg N = C_{C2} \end{cases}, \quad (7)$$

откуда

$$\Delta \lg N = \frac{m_{C1} C_{C2} - m_{C2} C_{C1}}{m_{C1} - m_{C2}} \quad (8)$$

С учётом (8) зависимость (6) перепишем в виде

$$k_y = \frac{\lg N_1 - \lg N_2}{\lg N_2 - \frac{m_{C1} C_{C2} - m_{C2} C_{C1}}{m_{C1} - m_{C2}}}. \quad (9)$$

Зависимость (9) предполагает, что параметры наклонных участков  $m_{C1}$ ,  $m_{C2}$ ,  $C_{C1}$  и  $C_{C2}$  известны. Однако в случае сравнительных испытаний они известны только для объектов, с которыми осуществляется сопоставление характеристик сопротивления усталости, т.е. известными являются параметры  $m_{C2}$  и  $C_{C2}$ .

Существует несколько способов определения параметров наклонного участка кривой усталости по результатам испытаний одного объекта [2]. Применительно к решаемой задаче эти параметры можно определить с высокой точностью путём совмещения долговечностей исходной средневероятной кривой усталости и испытанного объекта, перемещая её вдоль оси ординат. При этом параметры для нового положения экспериментальных данных определяем с помощью метода наименьших квадратов. В качестве примера применения предложенного подхода рассмотрим результаты испытаний на сопротивление усталости образцов с концентратором напряжений из стали 45 [3]. В процессе испытаний они вращались и нагружались чистым изгибом (табл.1).

По найденным в результате статистической обработки экспериментальных данных параметрам  $m_C$  и  $C_C$  определим из уравнения (2) логарифм долговечности при напряжении 270 МПа

$$\lg N = C_C - m_C \lg \sigma = 36,674 - 13,038 \cdot 2,431 = 4,979.$$

Будем полагать, что объект, характеристики сопротивления усталости которого необходимо сравнить с исходными, испытан при напряжении  $\sigma = 270$  МПа и его долговечность  $N_1$ , превышает долговечность по кривой усталости в 10 раз, т.е.  $N_1 = 952796$  циклов ( $\lg N_1 = 5,979$ ). В этом случае согласно формуле (1) коэффициент относительной долговечности  $k_y$  будет равен

$$k_y = \frac{\lg N_1 - \lg N_2}{\lg N_2} = \frac{5,979 - 4,979}{4,979} = 0,201.$$

Сместим кривую усталости вверх на величину напряжения, равного

$$\Delta\sigma = 270 - \left(\frac{10^{C_C}}{N}\right)^{\frac{1}{m_C}} = 270 - \left(\frac{10^{36,674}}{952796}\right)^{\frac{1}{13,038}} = 39 \text{ МПа}.$$



Таблиця 1

*Результаты испытаний образцов из стали 45  
при симметричном круговом изгибе*

Номер п/п	$\sigma$ , МПа	$N$ , Цикл.	$\lg \sigma$	$\lg N$	$\bar{\sigma}_R$ , МПа
Сталь 45, образцы с концентратором напряжений					
Параметры степенного уравнения: $m_C = 13,038$ ; $C_C = 36,674$ .					
1	270	77300	2,431	4,888	204,0
2		87300		4,941	
3		103000		5,012	
4		115900		5,064	
5		146900		5,167	
6	250	197100	2,398	5,295	
7		232900		5,367	
8		262300		5,419	
9		304400		5,483	
10		370300		5,569	
11	230	588700	2,362	5,770	
12		708800		5,851	
13		740700		5,870	
14		835100		5,921	
15		1100500		6,041	
16	210	1237700	2,322	6,093	
17		1240200		6,094	
18		2784800		6,445	
19		2806300		6,448	
20		3931800		6,595	

Определим параметры  $m_C$  и  $C_C$  для смещённой кривой усталости на величину  $\Delta\sigma$  с помощью метода наименьших квадратов по данным, приведенным в табл. 1. В результате получаем:  $m_C = 15,129$ ;  $C_C = 42,648$ . По формуле (8) находим значение  $\Delta \lg N$

$$\Delta \lg N = \frac{m_{C1} C_{C2} - m_{C2} C_{C1}}{m_{C1} - m_{C2}} = \frac{15,129 \cdot 36,674 - 13,038 \cdot 42,648}{15,129 - 13,038} = -0,574.$$

Отрицательное значение  $\Delta \lg N$  указывает на то, что точка пересечения кривых усталости лежит слева от оси ординат, что допустимо, поскольку она не имеет физического смысла и является вспомогательным безразмерным параметром.

Уточненне значення  $k_\gamma$  згідно формули (6) буде рівно

$$k_\gamma = \frac{\lg N_1 - \lg N_2}{\lg N_2 - \Delta \lg N} = \frac{5,797 - 4,979}{4,979 + 0,574} = 0,147.$$

Полученное таким образом уточнённое значение коэффициента  $k_\gamma$  позволяет проводить сравнительную оценку долговечностей для общего диапазона напряжений сравниваемых объектов.

### Выводы

1. На основе корреляционных зависимостей между параметрами наклонного участка кривой усталости и пределом выносливости определён диапазон его значений, для которого коэффициент относительной долговечности  $k_\gamma$  стабилен (300-500 МПа).
2. Разработан новый подход к корректировке данного коэффициента для диапазона значений  $\sigma_R$ , в котором она необходима (100-300 МПа).

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Олейник Н.В., Коноплев А.В., Кобаков А.Г. О соотношении долговечностей до разрушения при их рассеянии в зависимости от уровня нагрузки при испытаниях на усталость // *Нові технології навчання в навчальних закладах України*. – Одеса: Друк, 2001. – Вип. 7. – С. 41-45.
2. Олейник Н.В. *Высокопроизводительные испытания на усталость и оценка индивидуальных характеристик сопротивления усталости*. – Одесса: Астропринт, 1999. – 182 с.
3. Олейник Н.В., Коноплев А.В., Кобаков А.Г. *Методы ускоренного определения характеристик сопротивления усталости в практических приложениях*. – Одесса: Астропринт, 2000. – 138 с.

*Стаття надійшла до редакції 12.11.2018 р.*

### Рецензенти:

кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри «Технічне обслуговування і ремонт суден» Одеського національного морського університету **Ю.О. Никифоров**

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового технологічного обладнання» Одеського національного морського університету **О.О. Немчук**

УДК 620:178.3

**О ТОЧКАХ ПЕРЕЛОМА КРИВЫХ УСТАЛОСТИ,  
ВЫРАЖЕННЫХ СТЕПЕННЫМ И ПОКАЗАТЕЛЬНЫМ УРАВНЕНИЯМИ**

**А.В. Коноплёв**

д.т. н., профессор, заведующий кафедрой «Машиноведение»

**П.И. Греченко**

к.т.н., доцент кафедры «Машиноведение»

**Н.И. Чередарчук**

начальник отдела лицензирования, аккредитации и мониторинга качества образования

**В.О. Сологуб**

аспирант кафедры «Машиноведение»

*Одесский национальный морской университет*

*Аннотация.* Рассмотрены корреляционные взаимосвязи между пределом выносливости и параметрами наклонного участка кривой усталости, выраженной степенным и показательным уравнениями. С их помощью определены абсциссы точек перелома этих кривых и построены графики зависимостей данных величин от пределов выносливости.

*Показано, что эти взаимосвязи могут быть как убывающими, так и возрастающими в зависимости от исследуемой выборки.*

*Ключевые слова:* кривая усталости, корреляционные зависимости, предел выносливости.

**ПРО ТОЧКИ ПЕРЕЛОМУ КРИВЫХ ВТОМИ,  
ВИРАЖЕНИХ СТЕПЕННИМ І ПОКАЗОВИМ РІВНЯННЯМИ**

**А.В. Коноплёв**

д.т. н., профессор, завідувач кафедри «Машинознавство»

**П.І. Греченко**

к.т.н., доцент кафедри «Машинознавство»

**Н.І. Чередарчук**

начальник відділу ліцензування, акредитації та моніторингу якості освіти

**В.О. Сологуб**

аспірант кафедри «Машинознавство»

*Одеський національний морський університет*

*Анотація.* Розглянуто кореляційні взаємозв'язки між границею витривалості і параметрами похилої ділянки кривої втоми, вираженої степенним і показовим рівняннями. З їх допомогою визначено абсциси точок перелому цих кривих і побудовані графіки залежностей цих величин від границь витривалості.

*Доведено, що ці взаємозв'язки можуть бути як убутними, так і зростаючими в залежності від досліджуваної вибірки.*

*Ключові слова:* крива втоми, кореляційні залежності, межа витривалості.

UDC 620:178.3

ABOUT POINTS OF PERELOM OF FATIGUE CURVES,  
EXPRESSED BY THE DEGREE AND INDICATIVE EQUATIONS

A.V. Konoplev

Doctor of technical sciences, Professor, head of the Department «Machine Science»

P.I. Grechenko

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department of «Machine Science»

N.I. Cheredarchuk

Head of Licensing, Accreditation and Monitoring of Education Quality

V.O. Sologub

Postgraduate student of the Department «Machine Science»

Odessa National Maritime University

**Abstract.** Correlation relationships between the endurance limit and the parameters of the inclined section of the fatigue curve, expressed by power and exponential equations, are considered. With their help, the abscissas of the fracture points of these curves are determined and graphs of the dependencies of these values are constructed from the limits of endurance.

It is shown that these relationships can be either decreasing or increasing, depending on the sample being studied.

**Keywords:** fatigue curve, correlation dependencies, endurance limit.

Вопрос о корреляционных зависимостях между параметрами наклонного участка кривой усталости и пределом выносливости рассматривался в ряде работ [1-4]. В результате статистической обработки больших массивов экспериментальных данных авторами были получены зависимости для трёх основных уравнений: степенного, показательного и Вейбулла.

Для степенного уравнения кривой усталости зависимости параметров её наклонного участка  $m_C$  и  $C_C$  от предела выносливости  $\sigma_R$  представляются в виде [1]

$$m_C = f_C(\sigma_R) = a_C \sigma_R + b_C; \quad (1)$$

$$C_C = F_C(\sigma_R) = \alpha_C (m_C + 1) \lg \sigma_R + \beta_C, \quad (2)$$

где  $a_C$ ,  $b_C$ ,  $\alpha_C$ ,  $\beta_C$  – эмпирические коэффициенты. Абсцисса точки перелома кривой усталости  $\lg N_{GC}$  в координатах  $\lg N \sim \lg \sigma$ , с учётом зависимостей (1) и (2), определяется из выражения [1]

$$\lg N_{GC} = \varphi(\sigma_R) = [m_C (a_C - 1) + \alpha_C] \lg \sigma_R + \beta_C. \quad (3)$$

$$\lg N_{GC} = \varphi(\sigma_R) = [m_C(a_C - 1) + \alpha_C] \lg \sigma_R + \beta_C. \quad (3)$$

Для объектов из углеродистых и легированных сталей принимают:  $a_C = 0,027$ ;  $b_C = 1,4$ ;  $\alpha_C = 0,997$ ;  $\beta_C = 4,0 + 0,5(2,5 - \lg \sigma_R)^2$ , при  $\lg \sigma_R \geq 2,5$   $\beta_C = 4,0$  (в среднем  $\beta_C = 4,25$ ).

На основании обработки того же массива экспериментальных данных были получены уравнения регрессии в виде линейных функций для модели кривой усталости Вейбулла, в виде [2]

$$m_W = f_W(\sigma_R) = a_W \sigma_R + b_W = 0,002 \sigma_R + 0,8; \quad (4)$$

$$C_W = F_W(\sigma_R) = \alpha_W \sigma_R + \beta_W = 0,005 \sigma_R + 6,6, \quad (5)$$

где  $a_W$ ,  $b_W$ ,  $\alpha_W$ ,  $\beta_W$  – эмпирические коэффициенты;

В приближённом варианте принимают  $m_W = \text{const} = 1,0$ , а параметр  $C_W$  определяют по формуле

$$C_W = \lg \sigma_R + 5,1. \quad (6)$$

Для параметров кривой усталости, выраженной показательным уравнением, получены корреляционные зависимости между величиной  $\lg N_{GP}$  и пределом выносливости при симметричном изгибе  $\sigma_{-1}$  [3]:

– для углеродистых сталей

$$\lg N_{GP} = \varphi_{II}(\sigma_{-1}) = (\alpha_{II} \sigma_{-1} + \beta_{II})/k = (0,43 \sigma_{-1} + 289,6)/k; \quad (7)$$

– для легированных

$$\lg N_{GP} = (1,48 \sigma_{-1} - 33,5)/k; \quad (8)$$

– для углеродистых и легированных

$$\lg N_{GP} = (2,11 \sigma_{-1} + 132,5)/k, \quad (9)$$

где  $\sigma_{-1}$  – предел выносливости при симметричном цикле изменения напряжений;  $\alpha_{II}$ ,  $\beta_{II}$  – эмпирические коэффициенты;  $k$  – параметр.

Используя зависимости (3) и (9), определим величины  $\lg N_{GP}$  и  $\lg N_{GC}$  для интервала значений предела выносливости 100 – 500 МПа.

Что же касается уравнения Вейбулла, то оно является асимптотическим и не имеет точки перелома, однако, если его параметры выразить через параметры степенного и показательного уравнений, то такое сравнение будет корректным. Очевидно, что величины  $\lg N_{GI}$  и  $\lg N_{GC}$ , для одних и тех же экспериментальных данных, отличаются между собой, хотя и незначительно. Учитывая данное обстоятельство, их сравнение можно осуществить не с точки зрения их близости, а с целью установления тенденции их изменения в оговоренном выше диапазоне значений пределов выносливости.

Чтобы выразить параметры уравнения Вейбулла через параметры степенного и показательного уравнений, воспользуемся зависимостями параметров  $m_W$  и  $C_W$  от предела выносливости [4]

$$m_W = f_W(\sigma_R) = \frac{1}{a_{W1}\sigma_R^{k_1} - b_{W1}} - 1 = \frac{1}{5,254\sigma_R^{0,01} - 5,038} - 1; \quad (10)$$

$$C_W = F_W(\sigma_R) = \lg \frac{(\alpha_{W1}\sigma_R + \beta_{W1})^{m_W+1}}{m_W+1} = \lg \frac{(7,029\sigma_R + 3599)^{m_W+1}}{m_W+1}, \quad (11)$$

где  $a_{W1}$ ,  $b_{W1}$ ,  $\alpha_{W1}$ ,  $\beta_{W1}$ ,  $k_1$  – эмпирические коэффициенты.

Определим значения параметров  $m_W$  и  $C_W$  с помощью формул (10) и (11) для диапазона значений пределов выносливости 100-500 МПа (табл. 1).

Таблица 1

Расчётные значения параметров  $m_W$  и  $C_W$ 

$\sigma_R$ , МПа	100	200	300	400	500
$m_W$	1,157	0,993	0,907	0,850	0,809
$C_W$	7,504	7,073	6,883	6,776	6,711

Пересчёт параметров  $m_W$  и  $C_W$  в параметры  $m_C$ ,  $C_C$  степенного уравнения, а также  $k$  и  $C_{II}$  показательного уравнения, осуществим с помощью метода наименьших квадратов, определив предварительно значения  $\lg N$  для напряжений, соответствующих зоне многоциклового усталости (табл. 2).

Таблиця 2

Расчётные значения параметров  $m_C$ ,  $C_C$ ,  $k$  и  $C_\Pi$   
для различных значений предела выносливости

$\sigma_R=100$ МПа; $m_W=1,157$ ; $C_W=7,504$						
$\sigma$ , МПа	$\lg \sigma$	$\lg N$	$m_C$	$C_C$	$k$	$C_\Pi$
1	2	3	4	5	6	7
105	2,021	6,695	4,864	16,245	70,973	7,838
110	2,041	6,329				
120	2,079	5,975				
130	2,114	5,7683				
140	2,146	5,622				
150	2,176	5,508				
160	2,204	5,415				
170	2,230	5,336				
180	2,255	5,268				
190	2,279	5,208				
200	2,301	5,154				
210	2,322	5,142				
220	2,342	5,098				
$\sigma_R=200$ МПа; $m_W=0,993$ ; $C_W=7,073$						
205	2,312	6,379	7,305	23,033	78,444	8,732
210	2,322	6,080				
220	2,342	5,781				
230	2,362	5,606				
240	2,380	5,482				
250	2,398	5,386				
260	2,415	5,307				
270	2,431	5,241				
280	2,447	5,183				
290	2,462	5,132				
300	2,477	5,087				
310	2,491	5,046				
$\sigma_R=300$ МПа; $m_W=0,907$ ; $C_W=6,883$						
305	2,484	6,249	9,960	30,788	79,659	9,859
310	2,491	5,976				
320	2,505	5,703				
330	2,519	5,543				
340	2,531	5,430				
350	2,544	5,342				

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
360	2,556	5,270				
370	2,568	5,209				
380	2,580	5,157				
390	2,591	5,111				
400	2,602	5,069				
$\sigma_R=400$ МПа; $m_W=0,850$ ; $C_W=6,776$						
405	2,6070	6,182	12,034	37,363	84,991	10,742
410	2,613	5,926				
420	2,623	5,670				
430	2,633	5,520				
440	2,643	5,414				
450	2,653	5,332				
460	2,663	5,265				
470	2,672	5,208				
480	2,681	5,158				
490	2,690	5,115				
500	2,699	5,076				
$\sigma_R=500$ МПа; $m_W=0,809$ ; $C_W=6,711$						
505	2,703	6,146	14,045	43,927	89,274	11,608
510	2,708	5,902				
520	2,716	5,658				
530	2,724	5,516				
540	2,732	5,415				
550	2,740	5,337				
560	2,748	5,272				
570	2,756	5,218				
580	2,763	5,171				
590	2,771	5,130				
600	2,778	5,093				

Графики зависимостей  $\lg N_{GC}(\sigma_R)$  и  $\lg N_{GP}(\sigma_R)$  для степенного и показательного уравнений показаны на рис. 1. Расчётные их значения представлены в табл. 3



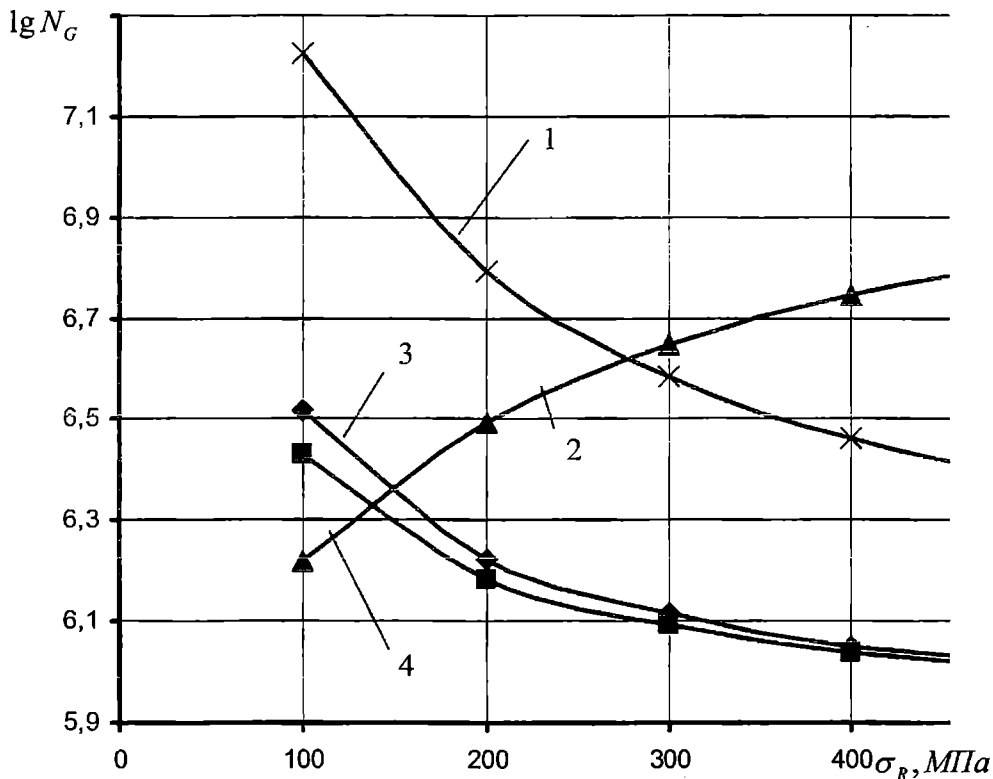


Рис. 1. Зависимости  $\lg N_{GC}(\sigma_R)$  и  $\lg \bar{N}_{GP}(\sigma_R)$ :  
1 – формула (3); 2 – формула (9);  
3 и 4 – на основании данных табл. 2

Таблица 3

Расчётные значения  $\lg N_G$   
для различных значений предела выносливости

$\sigma_R$ , МПа	100	200	300	400	500
$\lg N_{GC}$	6,517	6,224	6,116	6,050	6,020
$\lg N_{GP}$	6,429	6,182	6,093	6,036	6,007
$\lg N_{GC}^{(3)}$	6,220	6,493	6,647	6,745	6,815
$\lg N_{GP}^{(9)}$	7,226	6,791	6,584	6,463	6,383

**Заключення.** Проведений аналіз показав, що кореляційні взаємозв'язки  $\lg N_{GC}(\sigma_R)$  і  $\lg N_{GI}(\sigma_R)$  можуть бути як убываючими, так і зростаючими в залежності від досліджуваної вибірки. При цьому діапазон зміни абсциси точки перелому кривої втоми, в разі використання формул (10) і (11), помітно менше, ніж при її визначенні по залежностям (3) і (9).

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Олейник Н.В. *Выносливость деталей машин.* – К.: Техніка, 1979. – 200 с.
2. Олейник Н.В., Коноплёв А.В., Кобаков А.Г. *Методы ускоренного определения характеристик сопротивления усталости в практических приложениях.* – Одесса: Астропринт, 2000. – 138 с.
3. Гребеник В.М., Цатко В.К. *Надёжность металлургического оборудования: Справочник.* – М.: Металлургия, 1989. – 344 с.
4. Коноплёв А.В., Селюкова Е.В. *Определение предела выносливости деталей машин методом Про с учётом взаимосвязи между его параметрами // Детали машин: Респ. межвед. науч.-техн. сборник.* – 1988. – Вып. 40. – С. 102-104.

*Стаття надійшла до редакції 12.02.2018*

#### **Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, проректор з навчально-організаційної роботи Одеського національного морського університету,  
**А.В. Шахов**

доктор технічних наук, доцент, директор Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» **В.І. Чимшир**

*Наукове видання*

**ВІСНИК  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**Збірник наукових праць**

**Випуск 3 (56)**

Засновник – Одеський національний морський університет

*Українською, російською  
та англійською мовами*

Видається з червня 1997 р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 4242 від 26.12.2011 р.

---

---

Підписано до друку з оригінал-макету 20.12.2018.  
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 13,3.  
Замовлення № 178.

Надруковано у Видавництві ОНМУ  
65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.  
Тел. 728 31 14