

ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

54

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**ВІСНИК
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Збірник наукових праць

ВИПУСК 1 (54)

Заснований у червні 1997 року

Одеса – 2018

ОДЕСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№ 1 (54)
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:
виз «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.Л.</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 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>Ланкіна 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 № 9 від 28 березня 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

**ВИДАТНІ ВЧЕНІ
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

| | |
|---|----------|
| ПОСТАН МИХАИЛ ЯКОВЛЕВИЧ (к 70- летию со дня рождения) | 5 |
|---|----------|

ГІДРОДИНАМІКА ТА ПРОЕКТУВАННЯ КОРАБЛЯ

| | |
|--|-----------|
| Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Калугин Я.В. Обоснование параметров речного круизного пассажирского судна RV300 для замены основной части существующего флота | 11 |
| Егоров А.Г. Показатели удельной металлоемкости и водоизмещения порожнем несамходных судов нового поколения | 24 |
| Егоров Г.В., Давыдов И.Ф., Тонюк В.И. Обоснование надводного борта рейдового перевалочного комплекса с трюмом без люковых закрытий расчетным моделированием качки и заливаемости | 43 |
| Кукалець Л.М. Ідентифікація та класифікація напрямів оновлення круїзного пасажирського флоту змішаного та внутрішнього плавання | 61 |

ОБЛАДНАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ МОРСЬКИХ ПОРТІВ

| | |
|--|-----------|
| Оробей В.Ф., Немчук О.О., Лимаренко О.М., Романов О.А. Стійкість кранових стріл-арок | 73 |
|--|-----------|

ПРОЕКТУВАННЯ ТА МІЦНІСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

| | |
|--|-----------|
| Стальниченко О.И., Смажило Б.В., Котенко Р.В. Технология плазменной наплавки пульсирующей дугой уплотнительного пояса тарелок клапанов судовых ДВС из сталей 40X10C2M и 40X9C2 | 88 |
| Стальниченко О.И., Иоргачев Д.В., Иоргачев В.Д. Анализ технологических схем плазменно-порошковой наплавки стационарной и пульсирующей дугой к сталям мартенситного класса | 93 |
| Коноплёв А.В., Кононова О.Н., Рожко Е.К. Оценка систематической погрешности коэффициента относительной долговечности | 99 |

З М І С Т

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ГІДРОТЕХНІЧНОГО БУДІВНИЦТВА

Блажко А.П.

Гідрохімічний режим та екологічний стан поверхневих вод
в басейні річки Когильник Одеської області 106

Блажко А.П.

Екологічне оцінювання якості поверхневих вод в верхів'ї
басейну річки Киргиж-Китай Одеської області 121

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ

**Панченко Т.Д., Стародуб В.І., Тузова І.А., Челабчі В.В.,
Челабчі В.М.**

Обчислювальний експеримент з використанням
комплексних інформаційних моделей 134

Titov S.D., Chernova L.S.

The general algorithm of writing couples of dual problems
in linear optimization 148

Доронін В.В., Алєйніков М.В., Алєйніков В.М.

Методи реалізації обчислювального інтелекту
при використанні деталізованого масиву глибин
в річкових електронно-картографічних системах 158

ВОДНОТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА ЇХ ЕЛЕМЕНТИ

Шибасев А.Г., Берневек Т.И.

Обоснование объектных и временных параметров проектов
пополнения флота 182

Щербина О.В.

Практическое применение методики определения
потребности в судах при взаимодействии морского
и внутреннего водного транспорта 195

УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ ТА ПРОГРАМАМИ

Лапкина И.А., Малаксиано Н.А.

О повышении устойчивости показателей эффективности
при планировании сроков обновления сложного
оборудования 207

Чимшир В.І., Пітерська В.М.

Механізми проектно-орієнтованого управління
інноваційною діяльністю 218

АВТОРИ ЗБІРНИКА 227

**ВИДАТНІ ВЧЕНІ
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**ПОСТАН МИХАИЛ ЯКОВЛЕВИЧ
(к 70- летию со дня рождения)**



Недавно друзья и коллеги поздравляли доктора экономических наук профессора Михаила Яковлевича Постана в связи с 70-летием со дня рождения и 45-летием научно-педагогической деятельности. Практически вся его трудовая жизнь связана с нашим университетом.

Михаил Яковлевич поступил на вечернее отделение инженерно-экономического факультета ОИИМФа в 1966 г., окончил его в 1972 г., параллельно работая техником в отделе портов Государственного проектно-изыскательского и научно-исследовательского института морского транспорта – Черноморниипроект. В Черноморниипроекте, работая на должностях младшего и старшего научного сотрудника, он занимался в основном научным обоснованием проектов портовых перегрузочных комплексов в портах Черного и Азовского морей под руководством крупного специалиста в области технологического проектирования портов к.т.н. А.И. Брюма, а также к.ф.-м.н. П.А. Шварцман – ученицы знаменитого математика М.Г. Крейна.

ВИДАТНІ ВЧЕНІ ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Производственную деятельность он сочетал с научной работой, в 1973 г. поступил в заочную аспирантуру ОИИМФа.

Его научным руководителем стал к.э.н., доцент кафедры «Математические методы управления морским транспортом» Е.Н. Воевудский, под научным руководством которого он в 1984 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Математические методы и применение вычислительной техники в экономических исследованиях, планировании и управлении народным хозяйством и его отраслями» в специализированном совете Института кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР. Тема диссертации «Исследование методов повышения эффективности оперативного управления основной деятельностью морского порта с применением стохастических моделей».

Свой опыт научной работы в Черноморниипроекте М.Я. Постан обобщил в совместной с профессором Е.Н. Воевудским монографии «Стохастические модели в проектировании и управлении деятельностью портов», выпущенной московским издательством «Транспорт» в 1987 г.

Работая старшим научным сотрудником в Черноморниипроекте, М.Я. Постан тесно сотрудничал с инженерами-проектировщиками из разных отделов института, помогая им разрабатывать научные методы решения сложных инженерных задач, связанных с технологическим и гидротехническим проектированием портовых перегрузочных комплексов и подходных каналов. Одним из итогов этой работы стали разработанные им совместно с инженерами-гидротехниками Н.И. Драненко и М.Б. Пойзнером основы теории эксплуатационной надежности причальных сооружений.

С 1987 по 1991 гг. М.Я. Постан работал в Южном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте морского флота (ЮжНИИМФ) на должности старшего научного сотрудника, где занимался математическим моделированием экологических процессов в морских портах.

В процессе исследований, проводимых М.Я. Постаном, была развита теория особого класса случайных процессов Маркова – так называемых марковских процессов со сносом (Markov drift processes). В своих исследованиях он значительно развил указанную теорию, элементы которой ранее использовались в трудах американских ученых-математиков D. Mitra, N.U. Prabhu и их учениками, а сама идея возможности и перспективности систематического изучения этих процессов была высказана еще в 1984 г. английским математиком M. Davis (он их называл кусочно-детерминированными марковскими процессами).

ВИДАТНІ ВЧЕНІ ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Проф. М.Я. Постан доказал, что указанные марковские процессы являются гибким теоретическим аппаратом, с помощью которого можно исследовать широкий класс реальных процессов, встречающихся в математической экологии, теории телетрафика, теоретической логистике и на транспорте.

Результаты указанных исследований были положены в основу его докторской диссертации на тему «Моделирование взаимодействия транспортных потоков в пунктах перевалки грузов», которую он успешно защитил в 1991 г. в специализированном ученом совете ОИИМФА (по специальности «Экономико-математическое моделирование»). Эти результаты обобщены в его монографии «Экономико-математические модели смешанных перевозок», вышедшей в 2006 г. в одесском издательстве «Астропринт».

В 1991 г. он перешел на работу в ОГМУ-ОНМУ. Сначала работал доцентом и профессором на кафедрах «Организация и методы управления на морском транспорте», «Прикладная математика и экономическая кибернетика», а в 2001 г. был назначен заведующим вновь созданной кафедры «Менеджмент и маркетинг».

Научные интересы М.Я. Поста́на не ограничиваются только проблемами морского транспорта. Существенен его вклад также в теорию массового обслуживания, интерес к которой у него возник еще в начале его научной карьеры под влиянием известных специалистов в этой области Л.М. Абольникова и проф. Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ) Г.П. Климова. В результате проведенных в 1970-х гг. исследований М.Я. Поста́ну удалось найти метод анализа целого класса систем массового обслуживания (СМО) – одноканальных систем типа M/G/1 с приоритетами и ограничениями на время ожидания. Эти СМО не поддавались аналитическому исследованию более 25 лет.

Кроме того, им был также исследован класс многоканальных СМО с ожиданием и произвольными, но определенным образом взаимно зависимыми законами распределения времен обслуживания требований, для которого стационарное распределение длины очереди требований можно найти в сравнительно простой аналитической форме. Парадокс состоит в том, что в предположении взаимной независимости времен обслуживания требований на разных каналах при произвольных законах распределения эта задача до сих пор еще не решена в замкнутом аналитическом виде.

Значителен также вклад М.Я. Поста́на в исследование таких сложных систем, как стохастические сети запасов, основы теории которых, по-существу, и были им заложены. Им был найден класс таких сетей, для

ВИДАТНІ ВЧЕНІ ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

которых можно найти многомерное распределение уровней запасов в узлах сети в явном виде (в терминах преобразования Лапласа-Стилтьеса).

Теория сетей хранения запасов может рассматриваться как непрерывный аналог известной теории сетей массового обслуживания, широко применяемой при проектировании и оптимизации управления сетей связи и компьютерных сетей. Она является обобщением классической стохастической теории запасов (водохранилищ), основы которой были заложены в трудах зарубежных ученых П. Морана, Дж. Гани, Н. Прабху, Л. Такача, а также академика НАН Украины В.С. Королюка, профессоров МГУ Е.В. Булинской, В.А. Малышева и др.

Эта теория служит научным инструментарием для решения многих задач в логистике, теории информации, финансовой математике и в др. областях науки.

Еще одной областью научных его интересов является анализ временных рядов (теория прогнозирования). Так, вместе с профессором Г.И. Кузьменко (много лет возглавлявшим кафедру Физики в ОИИМФ-ОГМУ) им был разработан эффективный метод долгосрочного прогнозирования тенденций изменения геофизических (климатических) процессов, названный авторами «Метод двоичного прогнозирования». Этот метод основан на перенесении принципов волновой механики на макрофизические (гидрометеорологические) процессы.

Также проф. М.Я. Постан одним из первых начал систематическое исследование таких важных для экономических исследований зависимостей, как кривые роста с несколькими точками перегиба, в частности ввел в рассмотрение обобщенную логистическую кривую. Такие кривые роста описывают многие наблюдаемые явления в экономической динамике и в математической экологии, в частности, в теории инноваций.

Вышеперечисленные научные результаты докладывались на научных семинарах МГУ, института кибернетики им. В.М. Глушкова и института математики НАН Украины, на более, чем 30 различных международных конгрессах, конференциях и симпозиумах, где получили высокую оценку специалистов.

В 2003 г. он был награжден Международным биографическим центром (Кембридж, Англия) медалью «Международный ученый года» за активное участие в международных научных конференциях.

Всего за 45 лет научно-педагогической деятельности Михаил Яковлевич опубликовал более 240 научных и учебно-методических работ, среди них 4 монографии и 5 учебных пособий, является соавтором 12 коллективных монографий, в том числе 9 опубликованных на английском языке.

ВИДАТНІ ВЧЕНІ ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Михаил Яковлевич уделяет внимание подготовке научных кадров, более 20 лет был членом специализированного ученого совета по защите докторских диссертаций при ОНМУ по специальности «Экономико-математическое моделирование», с 2005 по 2010 гг. являлся также членом специализированного совета по специальности «Экономика и управление предприятиями» в Институте проблем рынка и экономико-экологических исследований НАН Украины.

Он подготовил двух докторов экономических наук, четырех кандидатов экономических и четырех кандидатов технических наук. Неоднократно выступал официальным оппонентом по докторским и кандидатским диссертациям по экономическим наукам.

В последние годы его научные интересы связаны с математическим моделированием логистических систем и оптимизацией управления ими, риск-менеджментом, а также с нелинейной динамикой. В период 2009-2018 гг. он был инициатором и организатором проведения 8 международных научно-практических конференций «Проблемы развития транспортной логистики» Интер-ТРАНСЛОГ.

Проф. М.Я. Постан проводит также большую учебно-методическую и научно-организационную работу, с 2001 по 2015 гг. он активно участвовал в работе подкомиссии «Управление логистическими системами» научно-методической комиссии МОН по менеджменту и администрированию. Более 15 лет является экспертом аккредитационной комиссии МОН Украины по специальности «Менеджмент», с 2015 г. включен в состав секции «Экономика» научного совета МОН Украины. С 1995 г. – член американского математического общества (секции «Менеджмент» и «Исследование операций»). В настоящее время является также членом Украинского логистического альянса, Европейской рабочей группы по стохастическому моделированию. Несколько раз был включен в состав международных программных комитетов международных конференций по логистике, проходивших в Варшаве и Бремене. Входит в состав редакционных коллегий трех научных журналов, в том числе сборника научных трудов «Вісник ОНМУ».

В 1996 г. проф. М.Я. Постан был избран академиком Транспортной академии Украины, а также действительным членом Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы.

Принимал активное участие в ряде международных учебных и научных проектов, в которых участвовал ОНМУ, в частности:

а) в проекте ЕС TEMPUS-TACIS (№ 22031-2001) «Переподготовка специалистов морского транспорта в области транспортного менеджмента» (2001-2005);

**ВИДАТНІ ВЧЕНІ
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

б) в 3 летних школах по проблемам совершенствования менеджмента на морском транспорте в рамках Центрально-Европейской инициативы (2010-2012);

в) в Рамочной программе ЕС FP 7-Регионы 2011-1 (Log4Green) «Развитие транспортных кластеров и обеспечение условий внедрения стратегического плана совместных действий для региональной инновационной политики для шести регионов», грант ЕС № 287091 (2011-2014).

Также читал лекции в ряде зарубежных университетов, а именно: в Бременском университете (Германия, 2008), в Военно-морской академии им. Н. Вапцарова (Варна, Болгария, 2011), в университете «Овидий» (Констанца, Румыния, 2012), а также в Технологическом университете Западной Померании (Щецин, Польша, 2010, 2014).

**Коллектив Одесского национального морского университета
и редколлегии журнала «Вісник ОНМУ»
желают Михаилу Яковлевичу
доброго здоровья и долгих лет
плодотворной научно-педагогической деятельности!**

УДК 629.5.01

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
РЕЧНОГО КРУИЗНОГО ПАССАЖИРСКОГО СУДНА PV300
ДЛЯ ЗАМЕНЫ ОСНОВНОЙ ЧАСТИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ФЛОТА**

Г.В. Егоров, И.А. Ильницкий, Я.В. Калугин

Аннотация. Выполнено обоснование основных характеристик исследуемого типа пассажирских судов.

Описан созданный с использованием методик Морского Инженерного Бюро концепт речного круизного пассажирского судна PV300, позволяющий работать на реке и в прибрежных морских районах, максимально удовлетворяющий современным требованиям к комфорту и безопасности.

Ключевые слова: пассажирское судно, река, река-море, проектирование, размерения, конструкция корпуса, прочность, безопасность, комфорт, правила Регистра.

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
РІЧКОВОГО КРУІЗНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО СУДНА PV300
ДЛЯ ЗАМІНИ ОСНОВНОЇ ЧАСТИНИ ІСНУЮЧОГО ФЛОТУ**

Г.В. Єгоров, І.А. Ільницький, Я.В. Калугін

Анотація. Виконане обґрунтування основних характеристик досліджуваного типу пасажирських суден.

Описано створений з використанням методик Морського Інженерного Бюро концепт річкового круїзного пасажирського судна PV300, який дозволяє працювати на річці й у прибережних морських районах і який максимально задовольняє сучасним вимогам до комфорту й безпеки.

Ключові слова: пасажирське судно, ріка, ріка-море, проектування, розмірення, конструкція корпусу, міцність, безпека, комфорт, правила Регістру.

**RATIONALE FOR PARTS
FOR THE RIVER CRUISE PASSENGER VESSEL PV300
TO REPLACE THE BASIC PARTS OF THE EXISTING FLEET**

G.V. Egorov, I.A. Ilnickiy, Ya.V. Kalugin

Abstract. Grounding of main characteristics of investigated type of passenger vessels is carried out.

Created with usage of Marine Engineering Bureau methods most meeting modern requirements to comfort and safety PV300 concept of river cruise passenger vessel which can be operated both in river and coastal sea areas is described.

Keywords: passenger vessel, river, river-sea, design, dimensions, hull structure, strength, safety, comfort, Register rules.

Постановка проблеми. В крайние годы отечественный речной круизный рынок характеризуется активным моральным и физическим старением пассажирских судов, а как следствие, их выбытием. Поэтому задача создания круизных судов речного и смешанного река-море плавания (КС) стала актуальной и важной для воднотранспортной и туристической отраслей.

Целью статьи является обоснование (на основании исследований 2010-2015 годов, проведенных Морским Инженерным Бюро) концепта PV300 современного КС, представляющего интерес для отечественных судоходных компаний. Это судно будет работать на классических речных линиях, а также совершать эпизодические выходы в прибрежные зоны в соответствии с классом.

Изложение основного материала. Работы по созданию концепта PV300 базировались как на общих подходах к проектированию судов внутреннего и смешанного плавания, так и на основании специальных решений [2-8; 10]. Принципиальную роль играло обсуждение проблем с ведущими специалистами пассажирской отрасли – К.О. Анисимовым, В.Ф. Березиным, А.А. Трофимовым, Д.Г. Рябовым, Д.Н. Галкиным, А.Е. Смолиным, А.А. Семиным, О.Ф. Малининым и многими другими.

Особо следует отметить грандиозную роль успешного опыта, накопленного при создании круизного судна проекта PV08 «Александр Грин» [3] и других проектов, выполненных Морским Инженерным Бюро для Московского речного пароходства, а также опыта проектирования и постройки на Московском судостроительно-судоремонтном заводе круизного судна смешанного река-море плавания проекта PV09 «Княгиня Ольга».

Новое поколение КС река-море плавания для отечественных ВВП, по нашему мнению, будет характеризоваться следующими особенностями:

1. По главным размерениям судов:

определяющим является наличие ограничений путевых условий района эксплуатации судна (глубины, габариты судового хода, размеры гидротехнических сооружений и т.п.) – классы «Волго-Балт макс», «Волго-Дон макс» / «Днепро макс», «ББК макс», «Дунай макс».

Главные размеры концептов круизных пассажирских судов выбираются, исходя из данных, представленных в таблице 1. Подробнее см. в работе [5; 6].

Рассматриваемый концепт PV300 может работать на линии Москва-Санкт-Петербург, Киев-Херсон-Николаев-Одесса, а также совершать рейсы в прибрежные морские районы в соответствии с классом, т.е. по классификации Морского Инженерного Бюро – это судно «Волго-Дон макс» / «Днепро макс» класса.

2. По архитектурно-конструктивному типу судов [2]:

а) так называемые «плавучие гостиницы» с надстройкой по всей ширине судна без проходов по бортам (с устройством полноценных

балконов/террас или «французских» балконов при каютах) – для КС, ориентированных на иностранных туристов. Верхняя «солнечная» палуба оборудуется бассейном и сдвижным тентом от солнца;

Таблица 1

*Сводная информация по главным размерениям КС
смешанного река-море плавания*

| Класс судна | Габаритная длина L_M , м | Габаритная ширина B_M , м | Осадка d , м | Надводный габарит $H_{НГ}$, м |
|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------------|
| «Волго-Балт макс» | ≤ 185 | $\leq 16,95-20,1$ | 2,90-3,80 | $\leq 13,2$ |
| «Волго-Дон макс» / «Днепр макс» | ≤ 140 | $\leq 17,0$ | 3,20-3,70 | $\leq 14,0$ |
| «ББК макс» | ≤ 132 | $\leq 13,63$ | 2,90-3,80 | $\leq 11,9$ м* |
| «Дунай макс» | Дунай до Пассау | ≤ 135 | 2,00-2,50 | $\leq 6,7$ |
| | Выше Пассау** | ≤ 135 | 1,70-2,00 | $\leq 6,03$ |

* – Если не ожидать разводки моста на 1330,6 км или 24 м, если проходить при разведенном пролете;
** – включая сквозной проход до Северного моря (система Дунай-Майн-Рейн).

б) с прогулочными галереями по бортам на всех палубах, обеспечивающими пассажирам круговой обзор достопримечательностей (такой вариант на новых проектах применяется редко, далеко не каждому туристу приятно наличие случайных людей в непосредственной близости от окна его каюты);

в) с носовым обзорным салоном, также обеспечивающим обзор достопримечательностей с обоих бортов.

Применяется промежуточный вариант (для КС, ориентированных на отечественных туристов), который представляет собой в той или иной степени сочетание упомянутых выше вариантов. Практически все новые КС, причем как морские, так и речные, за рубежом строятся с максимальным количеством балконов.

Прежние привычные решения по применению в каютах иллюминаторов и судовых окон классического типа входят в противоречие с современными представлениями об обзоре и освещении кают. Поэтому, с точки зрения обеспечения безопасности принципиальным является вопрос об обеспечении реализации вырезов под окна и двери практически от палубы до палубы, что требует решения ряда проблем по прочности узлов крепления, материала окон, обеспечения взаимодействия палуб при минимальных площадях стенок рубок, наконец, водо- и брызгонепроницаемости (в зависимости от палубы).

Итак, принципиальным является возможность кругового обзора, как главной особенности именно речных круизов (либо за счет солнечной палубы, либо за счет носового обзорного салона, либо за счет прогулоч-

ных галерей). В отличие от чисто морских путешествий, интерес представляют виды с обоих бортов, тем более обычно речные путешественники берут билеты только в один конец и просто вид из окна (балкона) каюты недостаточен.

Поэтому концепт PV300 спроектирован Морским Инженерным Бюро в версии «плавающая гостиница» с устройством полноценных балконов/террас, с бассейном и тентом от солнца на верхней «солнечной» палубе, с носовым обзорным салоном.

3. По планировке внутренних помещений судов: модульные принципы формирования, как жилых блоков в целом, так и самих каютных модулей (стандартные каюты) и вертикальное зонирование жилых и общественных помещений (рестораны, салоны и бары размещаются в отдельных вертикальных зонах от жилых помещений, над каютами пассажиров и экипажа не размещаются помещения, в которых может создаваться шум).

Однако далеко не всегда можно удержать вертикально зонирование именно на судне смешанного река-море плавания, так как в силу известных причин возникает целая палуба – палуба надводного борта, она же главная палуба, где нельзя будет по соображениям безопасности мореплавания сделать балконы и открывавшиеся окна. Соответственно, там наиболее эффективно разместить главный ресторан, рассчитанный на всех пассажиров, и вспомогательные пассажирские помещения, а также некоторую часть кают, которые будут продаваться по наименьшим для данного круиза ценам (т.н. цены «от ...»).

Общая площадь каюты составляет примерно 16-43 м², включая балкон / «французский» балкон (как правило, каюты 2-х местные). Устройство ресторана с числом мест, равным числу пассажиров; конференц-залов, баров, детской комнаты, салона красоты, сувенирного киоска, фитнес-центра, солярия на открытой солнечной палубе. Для людей с ограниченными возможностями – лифты, соединяющие все палубы; коммуникации и туалеты, повышенные габариты проходов, отсутствие препятствий при перемещении в колясках.

Для привычных судов «Волго-Дон макс» / «Днепро макс» класса существующих проектов (пр. 301, 302) численность пассажиров в таких современных каютах составляет 250-300 человек. Для нового концепта PV300, имеющего такие же примерно габаритные размеры, комфортно можно разместить примерно 300-350 пассажиров (по сути, за счет отказа от пирамидальных надстроек и перехода к надстройкам и рубкам «чемоданного» типа – может это и дает менее классический боковой вид пассажирского вида, но более прибыльно).

4. При проектировании новых судов однозначно следует исходить из заданного заказчиком уровня комфортабельности в виде количества условных звезд либо коэффициента комфортабельности, который будет служить регулирующим фактором эффективности будущего судна в виде функции определяющей потребные площади палуб и помещений, габ-

ритные размеры судна, его пропульсивные характеристики, и, в итоге, – его экономическую эффективность.

В качестве критерия оценки проектной комфортабельности пассажирских судов [10] можно применить пятизвездочную шкалу, неофициально используемую практически всеми туроператорами. Количество звезд увеличивается в соответствии с повышением уровня качества обслуживания и комфорта.

Особо следует выделить круизные суда повышенной комфортности (по сути, яхты). Часто такие суда вообще не относят к круизным судам в силу значительных отличий в подходах к пассажирской зоне и к ряду специальных вопросов (наличия дополнительных возможностей для водных видов активного отдыха и т.п.). Однако как бы не комплектовалась пассажирская зона таких судов, они являются платформой для развития, в том числе и для классических круизных перевозок – см. сравнение боковых видов PV09 и PV300 на рисунке 1, которое наглядно доказывает этот тезис.

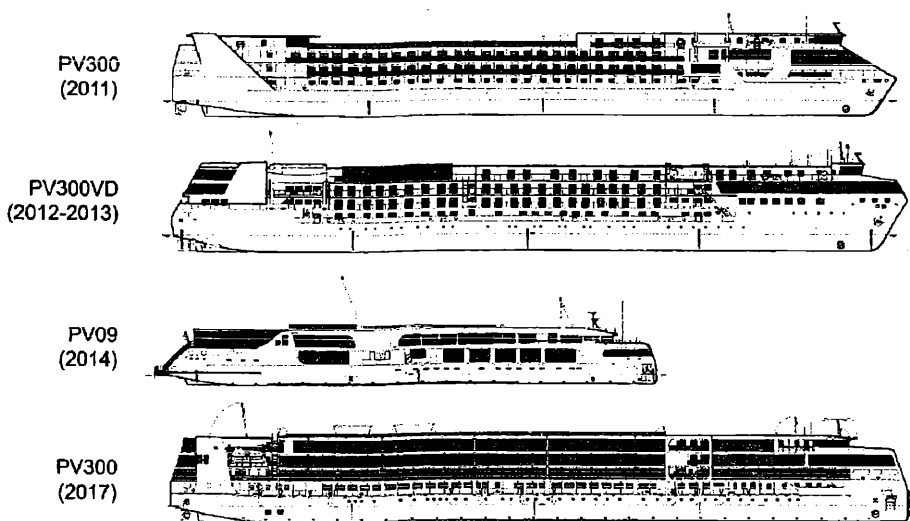


Рис. 1. Сравнение боковых видов концептов PV09 и PV300 / PV300VD

5. Выбор класса для перспективных круизных пассажирских судов предполагал [4] следующее:

- назначение классов по районам плавания в соответствии с планируемыми направлениями перевозок;
- определение ледовой категории в соответствии с накопленным опытом работы и тенденций к продлению навигационного периода, в том числе зимней эксплуатации;
- задание экономически обоснованного срока службы судна.

Поэтому для концепта «Волго-Дон макс» / «Днепро макс» класса PV300 с выходом в прибрежные морские районы назначен класс PPP М-ПР.

6. Для безопасного и ускоренного процесса эвакуации пассажиров могут быть использованы современные эвакуационные системы, состоящие из рукава и принимающей площадки (иногда посадка пассажиров может осуществляться напрямую на спасательное средство), на которую спускаются пассажиры во время эвакуации и с которой пассажиры перемещаются на спасательные шлюпки и плоты.

7. Экипаж должен формироваться, исходя из автоматизации СЭУ, автоматизации палубных работ (автоматические якорно-швартовные лебедки), автоматизации процесса погрузки припасов и механизации процесса уборки палуб (моечные машинки и т.п.) и с учетом использования совмещения специальностей.

8. Выбор основных элементов речных КС определяется путевыми условиями и стратегией туроператора, его позицией на рынке, приверженностью к тем или иным линиям и уровню комфортабельности [10] с учетом потребностей, склонностей и интересов пассажиров, для которых эти суда, собственно, и создаются.

Такой выбор, при всей его внешней субъективности, должен быть осуществлен из дискретного числа альтернатив, вполне объективно возникших на отечественном туристическом рынке как результат компромисса при выборе путевых ограничений и численности групп туристов (400-500 человек, 250-300 человек, 200-250 человек, 100-150 человек).

Анализ подобных альтернатив позволил выстроить параметрический ряд круизных судов смешанного и внутреннего плавания, объективно востребованных отечественными судовладельцами и на его основе разработать в МИБ проекты новых судов [3; 5; 6; 7].

Самым привлекательным является концепт PV300 «Волго-Дон макс» / «Днепро макс» класса (размеры определяются путевыми условиями Волго-Донского судоходного канала и реки Днепр, пассажироместимость около 300 человек). Предполагает эксплуатацию на первой действующей линии река-море круизов Киев-Херсон-Николаев-Одесса-Измаил, а также линиях, соединяющих порт Санкт-Петербург и порт Москва, по Волго-Донскому судоходному каналу с выходом в Азовское и Черное моря, по Волге с выходом в Каспийское море, так и по Волго-Балтийскому водному пути с выходом в Балтийское море. Морская эксплуатация обеспечивается в рамках класса PPP М-ПР, т.е. по сути, каботаж в 20-мильной прибрежной зоне с сезонными ограничениями.

Проект PV300 представляет собой стальное самоходное смешанного река-море (класса М-ПР) плавания круизное пассажирское судно «Волго-Дон макс» / «Днепро макс» класса с двумя поворотными винторулевыми колонками, с вертикальным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью, с избыточным надводным бортом, с надстройкой бака, с

четырёхъярусной жилой надстройкой по всей длине судна с носовым расположением рулевой рубки, с машинным отделением в кормовой части. Общее расположение концепта приведено на рисунке 2.

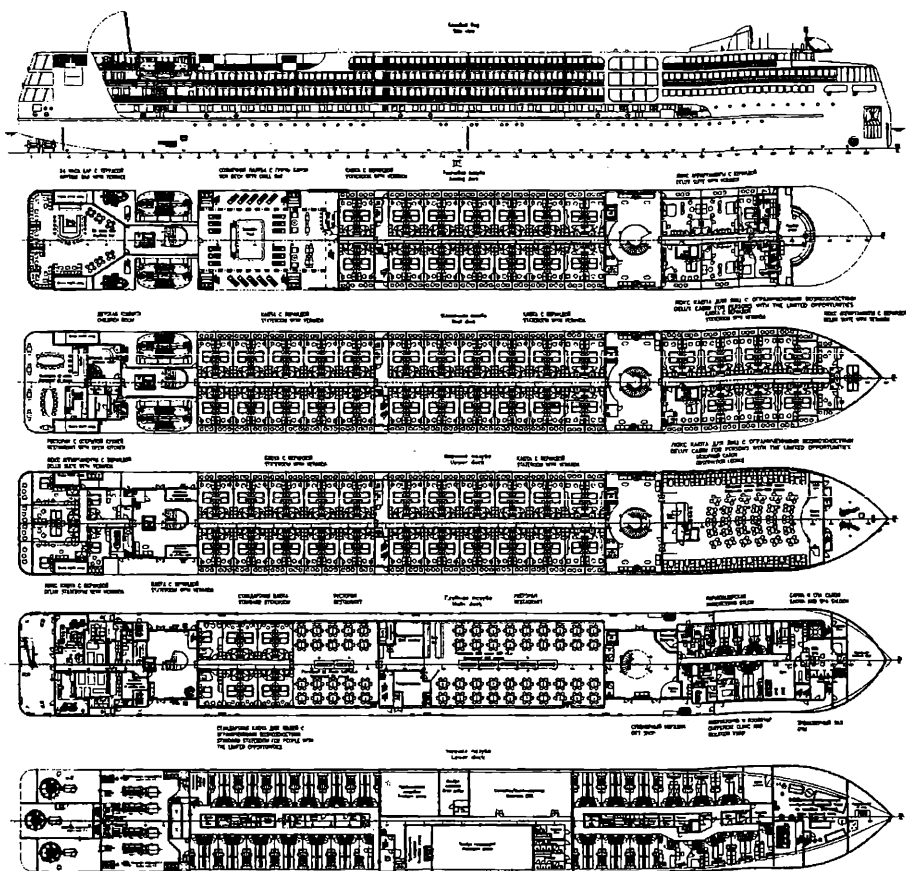


Рис. 2. Схема общего расположения круизного пассажирского судна проекта PV300 «Волго-Дон макс» / «Днепр макс» класса

Судно имеет следующие основные характеристики:

- длина габаритная 141 м;
- длина между перпендикулярами 135,36 м;
- ширина габаритная 16,80 м;
- ширина расчетная 16,60 м;
- высота борта 5,00 м;
- осадка наибольшая 3,00 м;
- высота габаритная от ОП 16,25 м;
- экипаж и обслуживающий персонал – 144 чел.;
- автономность по топливу – 15 суток;
- по прочим видам запасов – 5 суток.

Пассажиrowместимость судна может варьироваться от 300 до 400 мест в зависимости от установленных каютных модулей (площадь кают от 16 до 43 м²) и использования дополнительных мест для детей.

Базовой была выбрана компоновка круизного пассажирского судна на 342 пассажира, которые путешествуют в 171 каюте (выбор круизной компании «ВодоходЪ»):

- 1 «люкс» каюта площадью около 29 м²;
- 1 «люкс» каюта площадью около 27 м²;
- 168 стандартных кают с площадью около 19 м²;
- 1 стандартная каюта для людей с ограниченными возможностями площадью около 29 м².

Каюты пассажиров размещаются на 3-х ярусах надстройки – верхняя, шлюпочная и тентовая палубы.

Все пассажирские каюты оборудованы двуспальными кроватями, душем с туалетом, кондиционером, шкафами, сейфом, телевизором со спутниковыми и внутрисудовыми каналами, феном, электрическими розетками на 220 В и 110 В, беспроводным Интернетом (Wi-Fi), судовой радиотрансляцией, внутренней и внешней телефонной связью.

На крыше рулевой рубки (солнечная палуба) предусмотрена зона отдыха для приема солнечных ванн, а также беговая дорожка.

На главной палубе в кормовом и носовом вестибюлях (атриумах) с пассажирскими лифтами предусмотрены зоны отдыха и стойки регистрации.

Магазин сувениров предусмотрен в носовом вестибюле (атриуме) на главной палубе.

На верхней, шлюпочной и тентовой палубах в носовом вестибюле (атриум) предусмотрены зоны отдыха.

Общественные санитарные узлы предусмотрены в носовом и кормовом вестибюлях (атриумах) на следующих палубах: главная, верхняя (корма), шлюпочная (нос).

Помещения офисов располагаются на главной палубе около стоек регистрации носового и кормового вестибюлей (атриумов).

В жилых, общественных и служебных помещениях предусмотрены противозумные мероприятия (звуковая изоляция, «плавающие» полы, установка оборудования на амортизаторы).

Концепт PV300 – это не только современное высококомфортное и удобное, но и безопасное, экологически «чистое» пассажирское судно, полностью отвечающее всем национальным требованиям (Санитарным Правилам и нормам, Правилам пожарной безопасности, Техническому регламенту о безопасности объектов внутреннего водного транспорта).

Судно полностью удовлетворяет нормативным требованиям РРР к пассажирским судам. На судне устанавливаются 7 главных водонепроницаемых поперечных переборок, разделяющих корпус на 8 непроницаемых отсеков.

В кормовой части судна установлены две спасательные шлюпки по левому и правому бортам. Спасательные шлюпки полузакрытого типа, вместимостью 48 человек каждая.

Для безопасного и ускоренного процесса эвакуации пассажиров и экипажа на судне предусматриваются 2 современные морские эвакуационные системы со слайдом и платформой, с закрытыми надувными самовосстанавливающимися спасательными плотами на каждом борту (по 2 плота вместимостью 100 человек каждый на каждый борт судна).

Корпус в средней части судна набран по смешанной системе набора. Главная и верхняя палубы выполняются по продольной системе набора по всей длине. Нижняя, шлюпочная и тентовая палубы выполняются по поперечной системе набора по всей длине. Днище и второе дно выполняются по продольной системе в средней части и поперечной системе набора в оконечностях и в МО. Наружный борт выполняется по поперечной системе набора по всей длине. Конструкции оконечностей выполняются по поперечной системе набора.

Конструкция бортов и днища подкрепляется в соответствии с требованиями РРР на ледовую категорию «лед 30», что позволяет обеспечить возврат на базу отстоя в условиях раннего ледообразования.

Конструкция палуб судна в районе больших вырезов под атриумы усилена утолщёнными листами и дополнительными связями.

Пожаробезопасность нового концепта обеспечивается разделением судна на главные вертикальные зоны конструктивными и термическими преградами; отделением жилых помещений от других помещений судна термическими и конструктивными преградами; исключением применения горючих материалов; обнаружением любого очага пожара в зоне его возникновения; ограничением распространения и тушения пожара в местах его возникновения; защитой путей эвакуации и доступов к ним для борьбы с пожаром и готовностью средств пожаротушения к быстрому применению.

Двери в противопожарных переборках при повышении температуры автоматически закрываются. Из каждого водонепроницаемого отсека, расположенного ниже палубы переборок, делаются два максимально удалённых друг от друга выхода.

Особые требования предъявлены при проектировании к устройству систем вентиляции судна. Помещения, находящиеся в разных вертикальных противопожарных зонах, не сообщаются между собой через вентиляционные каналы, а сами каналы устроены так, чтобы их можно было перекрывать извне вентилируемых помещений. Управление вентиляцией осуществляется из двух постов, расположенных на максимальном удалении один от другого.

Кроме конструктивных мер противопожарной защиты выполнен комплекс мероприятий по оборудованию, жилых, общественных и служебных помещений автоматическими системами обнаружения пожара и автоматическими спринклерными системами в локальных вертикальных противопожарных зонах.

В кормовой части судна установлены две полноповоротные винторулевые колонки с винтами фиксированного шага в насадках, с механической мощностью на входном валу по 1200 кВт каждая. Для улучшения управляемости на малых ходах, при проходе узкостей и при швартовках на судне предусмотрено носовое ПУ.

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

Особенно эффективно использование ВРК при эксплуатации судна во 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.

При движении судна на одной ВРК нет потери управляемости и при этом скорость судна падает незначительно до 7,5-8,0 узлов. В экономичном режиме плавания на одной ВРК имеет место значительная экономия топлива.

Закупочная стоимость ВРК приблизительно равна суммарной стоимости редуктора, валопровода, дейдвудного устройства, винта, насадки, рулевой машины и руля.

Кроме того монтаж ВРК проще: нет необходимости в укладке валолинии, при этом может быть использован менее квалифицированный персонал, время монтажа ВРК меньше чем механической трансмиссии. Всё это позволяет сократить расходы на монтаж.

Установка ВРК может быть осуществлена на плаву после спуска судна на воду. Поставка и монтаж оборудования винторулевого комплекса может быть произведён на несколько месяцев позже, что также приводит к экономии средств.

В отличие от традиционного гребного вала и дейдвудного устройства, ремонт и периодическое освидетельствование которых требуют постановки судна в док, демонтаж и монтаж колонки может быть выполнен на плаву. Для серийных судов эффективно может применяться модульный ремонт ВРК без вывода судна из эксплуатации – замена колонки осуществляется во время стоянки судна в течение одного дня.

Поэтому на PV300 были применены именно ВРК.

Для обеспечения полного контроля над движением судна при маневрировании на малом ходу, швартовых операциях и постановке судна в док предусматривается установка системы управления судном, которая связывает все движители судна (винты, ВРК и подруливающие устройства) в единый модуль и при этом управление всеми этими движителями осуществляется при помощи одного джойстика.

Главная энергетическая установка – дизельная, состоящая из двух дизельных двигателей WARTSILA 6L20 максимальной длительной мощностью 1200 кВт.

Вспомогательная установка включает в себя:

- три дизель-генератора электрической мощностью ок. 950 кВт;
- аварийный дизель-генератор электрической мощностью 214 кВт;
- вспомогательную котельную установку в составе термального котла теплопроизводительностью 800 кВт, работающего на жидком топливе, трех термальных утилизационных котлов теплопроизводительностью по 170 кВт каждый.

В качестве топлива применяются для ГД, ДГ и термальных котлов – тяжелое топливо ІFO380 вязкостью 380 сСт при 50°C, в т.ч. топливо с низким содержанием серы. Для аварийного дизель-генератора и инсинератора применяется дизельное топливо согласно ГОСТ 305-85 либо ISO 8217 с температурой вспышки более 60 °C, в т.ч. топливо с низким содержанием серы.

Для перемещения пассажиров между палубами на судне предусмотрены два пассажирских лифта расположенных в носовом и кормовом вестибюлях (атриумах).

Заключение. Самым серьезным сдерживающим фактором роста индустрии круизного туризма является отсутствие современных круизных судов.

Средний возраст судов составляет 42 года, при этом половине из 90 существующих судов уже за 50-60 лет. В ближайшее десятилетие этот флот, скорее всего, будет списан, и у нас останется всего порядка 40 судов.

Для решения задачи обновления предлагается связать речные и некоторые прибрежные морские маршруты на основе современного круизного судна проекта PV300.

Это дизельное судно, соответствующее всем стандартам современной круизной и гостиничной индустрии. Имеются все виды необходимого отдыха (рестораны, спа-центры, тренажеры, бары и т.д.), в разработке судна принимали участие все ведущие круизные компании, поэтому оно полностью отвечает их потребностям.

Концепт PV300 – безопасное, экологически «чистое» пассажирское судно, полностью отвечающее всем национальным требованиям (Санитарным Правилам и нормам, Правилам пожарной безопасности, Техническому регламенту о безопасности объектов внутреннего водного транспорта).

Это судно будет работать на классических речных линиях, заменив на них классические суда проектов 301, 302, а также совершать эпизодические выходы в прибрежные зоны в соответствии с классом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров Г.В. *Риск-ориентированные подходы к обоснованию отступлений от нормативных требований для судов ограниченных районов плавания // Проблемы техники. – 2005. – № 3. – С. 3-13.*
2. 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.*
3. Егоров Г.В., Анисимов К.О. *Трехпалубное круизное судно «Александр Грин» пр. PV08 // Судостроение и судоремонт. – 2012. – № 53. – С. 22-33.*
4. Егоров Г.В., Егоров А.Г. *Исследование надежности и риска эксплуатации отечественных речных круизных пассажирских судов // Вестник ОНМУ. – Одесса: ОНМУ, 2015. – Вып. 1 (43). – С. 5-31.*
5. Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Калугин Я.В. *Принципы проектирования корпусов круизных пассажирских судов для европейской части ВВП России // Труды НТК по СМК памяти акад. Ю.А. Шиманского. – СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2011. – С. 30-31.*
6. Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Калугин Я.В. *«Линейка» круизных пассажирских судов для внутренних водных путей // Вестник ОНМУ. – Одесса: ОНМУ, 2013. – Вып. 2 (38). – С. 20-40.*
7. Егоров Г.В., Калугин Я.В. *Создание новых пассажирских судов с учетом опыта европейских речных круизов // Сб. научн. трудов НУК. – Николаев: НУК, 2013. – № 1. – С. 4-10.*
8. Егоров Г.В., Калугин Я.В., Егоров А.Г. *Анализ состояния речного пассажирского флота России // Проблемы техники. – 2012. – № 4. – С. 6-39.*
9. *Морские пассажирские суда / Ю.А. Будницкий, Г.П. Пилипенко, А.Г. Чукавин, В.С. Петухов. – Л.: Судостроение, 1989. – 224 с.*

10. Семин А.А. Влияние комфортабельности на выбор главных размерений пассажирских круизных судов внутреннего и смешанного плавания // Вестник ОНМУ. – Одесса: ОНМУ, 2005. – Вып. 17. – С. 39-45.

Стаття надійшла до редакції 09.02.18

Рецензенти:

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

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

УДК 629.5.01

**ПОКАЗАТЕЛИ УДЕЛЬНОЙ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ И ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ
ПОРОЖНЕМ НЕСАМОХОДНЫХ СУДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

А.Г. Егоров

Аннотация. Определены показатели удельной металлоемкости и водоизмещения порожнем несамоходных судов нового поколения в первом приближении на стадии эскизного проектирования по приближенным зависимостям.

Ключевые слова: проектирование, сухогрузные несамоходные суда, нефтеналивные несамоходные суда, район плавания, класс судна, весовая нагрузка, водоизмещение порожнем, металлоемкость.

**ПОКАЗНИКИ ПИТОМОЇ МЕТАЛОЄМНОСТІ І ВОДОТОННАЖНОСТІ
У ПОРОЖНЬОМУ СТАНІ НЕСАМОХІДНИХ СУДЕН НОВОГО ПОКОЛІННЯ**

А.Г. Егоров

Анотація. Визначено показники питомої металоемності й водотоннажності в порожньому стані несамохідних суден нового покоління в першому наближенні на стадії ескізного проектування за наближеними залежностями.

Ключові слова: проектування, суховантажні несамохідні судна, нафтоналивні несамохідні судна, район плавання, клас судна, вагове навантаження, водотоннажність в порожньому стані, металоемність.

**INDICATORS OF RECTIFY METAL WATER AND WATER DISPOSAL
CUMULATED NON-SUSTAINABLE SHIPS OF THE NEW GENERATION**

A.G. Egorov

Abstract. Parameters of per unit metal consumption and light displacement of new generation non-self-propelled vessels in first approximation at preliminary design stage are determined by approximations.

Keywords: design, dry cargo non-self-propelled vessels, oil non-self-propelled vessels, sailing area, vessel's class, weight estimate, light displacement, metal consumption.

Постановка проблемы. Еще в начале XXI века казалось, что суда смешанного река-море плавания и ограниченных морских районов плавания советских типов «бессмертны». Действительно, благодаря своим выгодным уникальным главным характеристикам – «партионная» грузоподъемность в 5000 / 3000 / 2000 тонн при малых осадках и при относительно малой стоимости, эти суда были вне конкуренции по сравнению с другими типами судов мирового флота.

Именно защищенность рыночной «ниши» позволила им достаточно длительное время быть экономически интересными для отечественных владельцев, в том числе и для относительно небольших частных компаний.

На начальной стадии проектирования, когда рассматриваются различные вариации главных размерений судна и конструктивных решений, оценка весовой нагрузки по приближенным зависимостям является тем самым инструментом, позволяющим получить необходимые характеристики проектируемого судна в кратчайший срок.

В настоящее время исследования в области анализа весовой нагрузки проводились исключительно для самоходных судов нового поколения [3-5], современные несамоходные суда не рассматривались.

Целью статьи является оценка весовой нагрузки несамоходных судов внутреннего и смешанного плавания нового поколения.

Изложение основного материала. В советское время основные исследования в области анализа весовой нагрузки речных и морских несамоходных судов были проведены Б.В. Богдановым и В.И. Поспеловым [1; 2; 7; 8].

В работе [3] в соавторстве с Н.Г. Валько и в работе [4] автор учитывал современные принципы проектирования судов смешанного плавания, которые влияли на весовую нагрузку вновь построенных судов: «ужесточились» Правила Регистра по минимальным толщинам и набору корпуса, поменялся подход к определению главных размерений судов смешанного плавания и т.д. [6].

По данным [1; 2] для определения массы металлического корпуса и водоизмещения порожнем нефтеналивных и сухогрузных барж в первом приближении используются традиционные зависимости, полученные через кубический модуль LBD (учитываются расчетные значения величин). Принято решение использовать те же зависимости для возможности сравнения весовых нагрузок отечественных и современных несамоходных судов.

В качестве исследуемых судов принимались несамоходные сухогрузные и нефтеналивные суда смешанного и внутреннего плавания с различными районами плавания по классификации РМРС и РРР, в том числе новые, спроектированные Морским Инженерным Бюро и другими проектными организациями (см. таблицы 1 и 2).

Основными статьями нагрузки для барж являются: вес металлического корпуса $P_{МК}$, вес судовых устройств P_y , вес судовых систем (за исключением систем энергетической установки) P_{oc} , вес энергосистем и энергетической установки $P_{сэу}$. К примеру, для несамоходных судов советской постройки вес энергосистем не являлся основным [2].

Остальные составляющие (неметаллические части, дельные вещи, изоляция и окраска, оборудование помещений, постоянные жидкие грузы в системах и корпусе и т.д.) крайне незначительны и учитываются в запасе водоизмещения $\Delta_{пор}^3$.

Величина запаса водоизмещения составляет в среднем порядка 3-5 % от водоизмещения судна порожнем. Водоизмещение порожнем определяется по формуле

$$\Delta_{пор} = P_{mk} + P_y + P_{oc} + P_{сзу} + \Delta_{пор}^3$$

Коэффициент общей полноты C_B нефтеналивных и сухогрузных барж колеблется в пределах 0,67-0,94 (меньшие показатели характерны для трюмных барж советской постройки).

График удельной металлоемкости $p_{mk} = P_{mk} / c \cdot LBD$ (т/м³) несамостоятельных сухогрузных судов приведен на рисунке 1 (баржи-площадки), рисунке 2 (бункерные баржи), рисунке 3 (трюмные баржи), несамостоятельных нефтеналивных судов – на рисунке 4.

c – коэффициент влияния коэффициента общей полноты C_B несамостоятельных судов, $c = \left(\frac{C_B}{C'_b} - 1 \right) \cdot \mu + 1$,

где C'_b – базовый расчетный коэффициент общей полноты $C'_b = 0,89$;

μ – коэффициент весомости металлического корпуса в структуре водоизмещения порожнем $\mu = 0,78$ для сухогрузных барж, $\mu = 0,85$ для нефтеналивных барж.

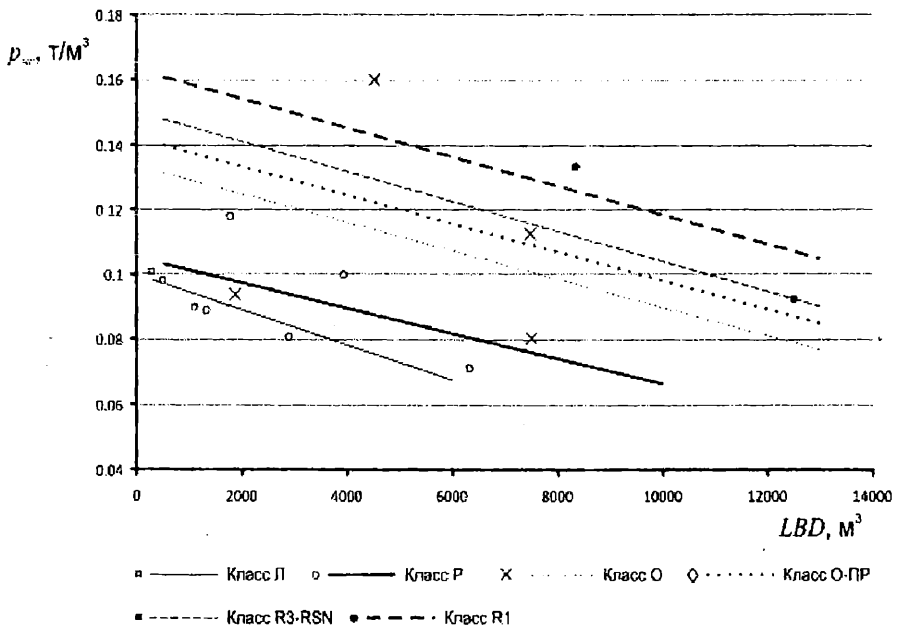


Рис. 1. График удельной металлоемкости сухогрузных барж-площадок

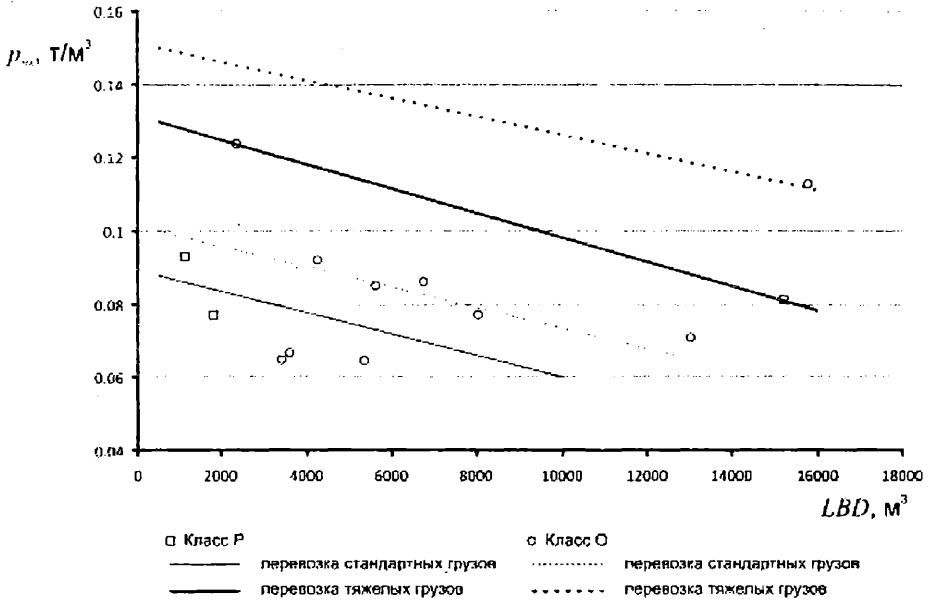


Рис. 2. График удельной металлоемкости сухогрузных бункерных барж

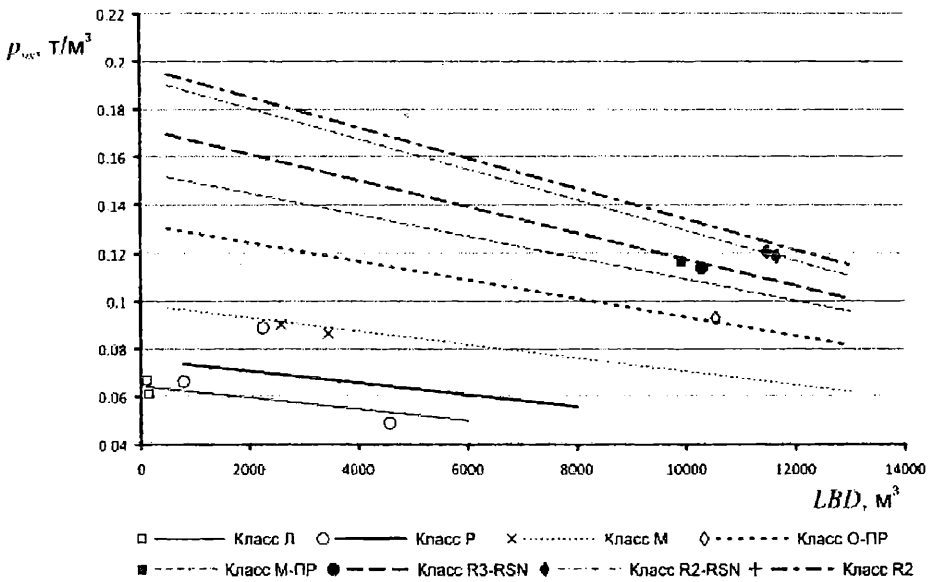


Рис. 3. График удельной металлоемкости сухогрузных трюмных барж

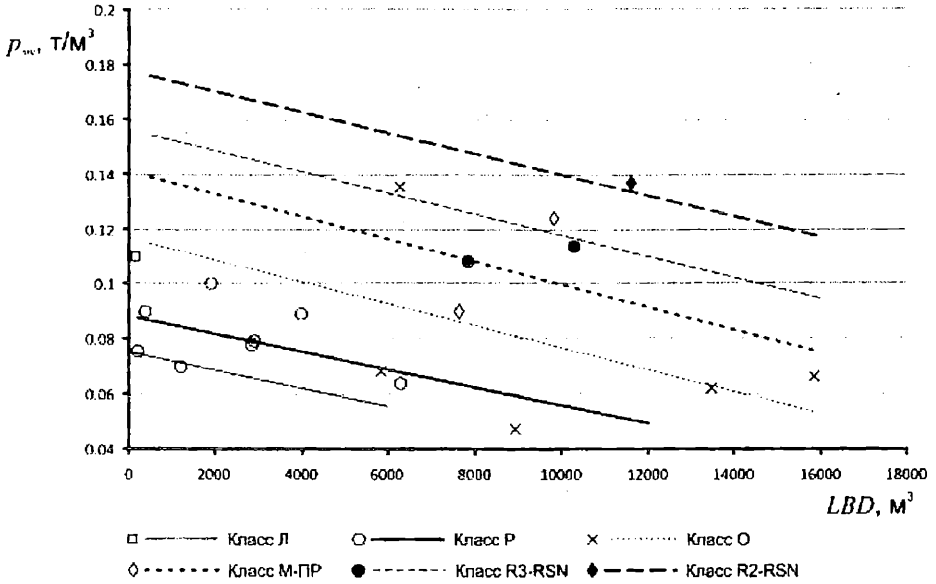


Рис. 4. Графік удельной металлоемкости нефтеналивных барж

Значительная часть исследуемых существующих барж имеет речной класс и, соответственно, металлоемкость таких барж меньше, чем у барж смешанного река-море плавания (практически все проекты Морского Инженерного Бюро), кроме того, эти баржи были спроектированы до ужесточения Правил Регистра. Таким образом, удельная металлоемкость современных барж больше.

Весомость показателя масс систем $p_{OC} = P_{OC} / LBD$ для современных сухогрузных барж выше (объясняется актуальными требованиями к безопасности), для нефтеналивных судов показатель массы систем остался практически неизменным.

Для сухогрузных барж всех типов можно рекомендовать зависимость $\delta_{пор}^3 = 0,005 - 9 \cdot 10^{-8} LBD, \text{ т/м}^3$. Для нефтеналивных барж можно рекомендовать зависимость $\delta_{пор}^3 = 0,006 - 1 \cdot 10^{-7} LBD, \text{ т/м}^3$.

Иногда на начальных стадиях проектирования необходимо оценить водоизмещение порожнем проектируемой баржи, при этом, окончательных принципиальных решений по отдельным составляющим весовой нагрузки может еще не быть. В связи с этим рекомендуется использовать графики показателя водоизмещения порожнем $\delta_{пор}$ (т/м³), приведенные ниже на рисунках 5-8.

В принципе, современные баржи смешанного плавания, несмотря на более жесткие ограничения по минимальным нагрузкам и толщинам, незначительно выделяются из общей статистики существующих барж.

Полученные зависимости приведены в таблице 3.

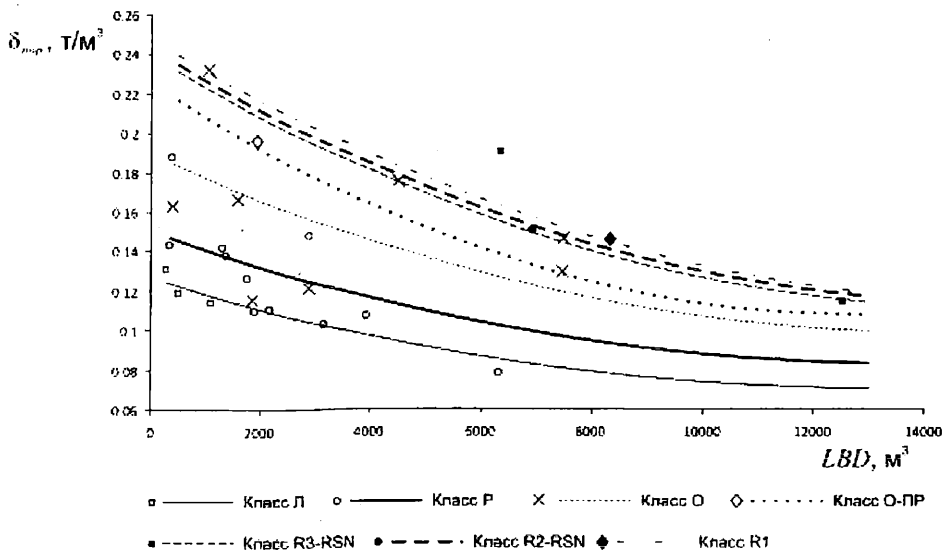


Рис. 5. Графік показателя водоизмещения порожнем сухогрузных барж-площадок

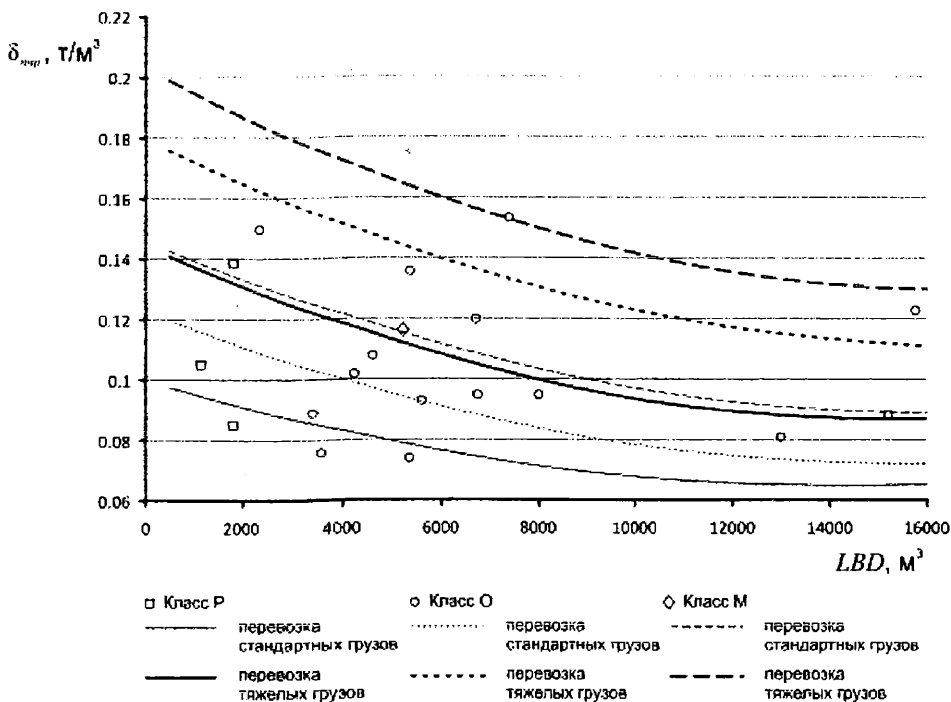


Рис. 6. Графік показателя водоизмещения порожнем сухогрузных бункерных барж

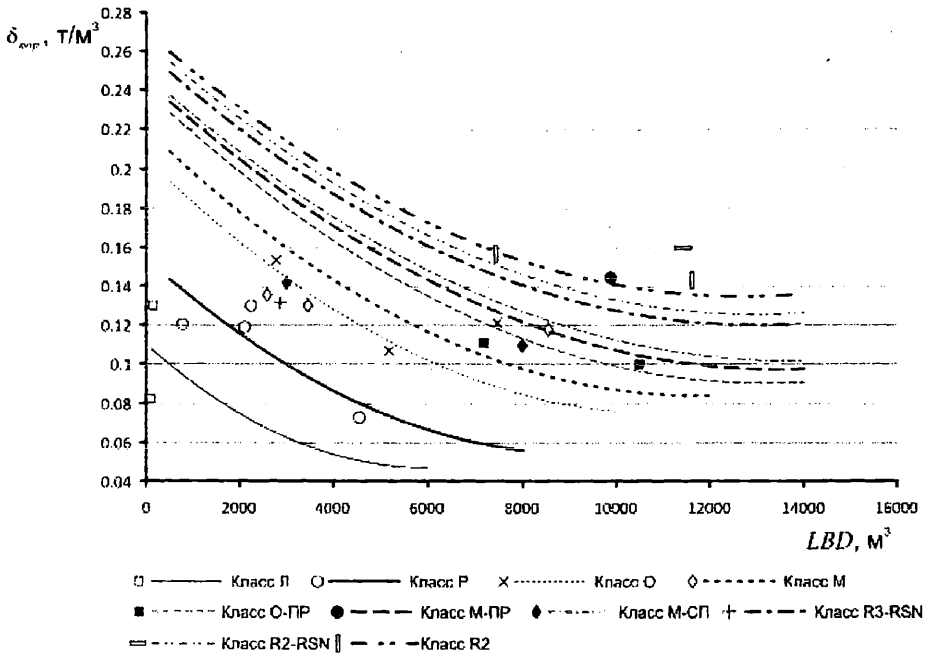


Рис. 7. График показателя водоизмещения порожнем сухогрузных трюмных барж

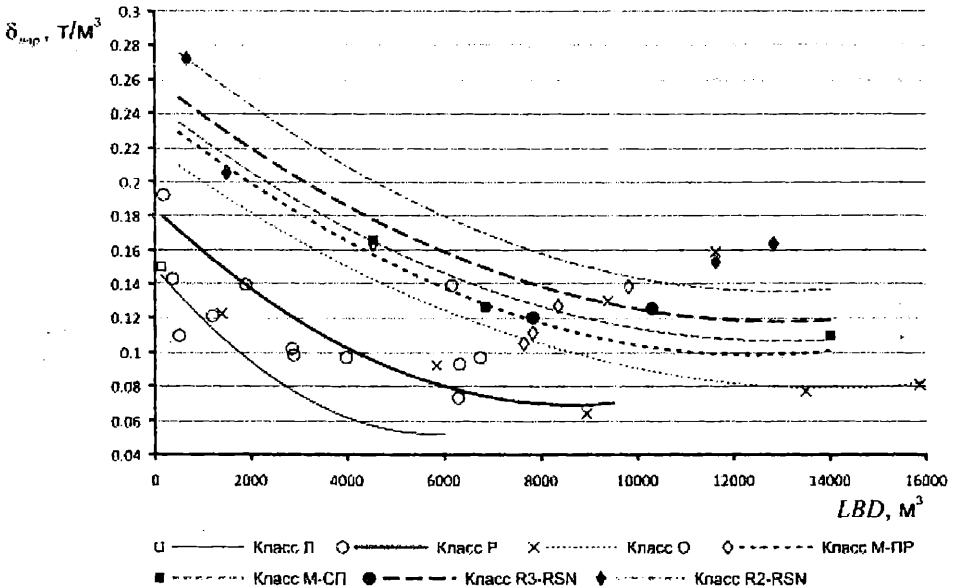


Рис. 8. График показателя водоизмещения порожнем нефтеналивных барж

Таблиця 1

Некоторые характеристики судовозных несамходных судов

| Проект, район плавания | L x B x D, м | d, м | P, т | P _н , т | P _{вн} , т | P _{ос} , т | P _{сб} , т | Δ _{вп} ¹ , т | Δ _{вп} ² , т | P _{вп} /LBD, т/м ³ | P _р /LBD, т/м ³ | P _{ос} /LBD, т/м ³ | Δ _{вп} ¹ /LBD, т/м ³ | Δ _{вп} ² /LBD, т/м ³ | 0,1566 |
|---------------------------|-----------------|---------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|--|---|--|--|--------|
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| RDB10, R2 | 117,6x16,5x6,0 | 3,6/ 4,4/ 4,5 | 4300/ 5900/ 6100 | 1381,5 | 356 | 40 | 20 | 26 | 1823,5 | 0,1187 | 0,0306 | 0,0034 | 0,0022 | 0,1566 | |
| RDB14, R3-RSN | 130,0x16,9x5,7 | 3,2/ 3,6/ 4,0 | 5030/ 5900/ 6820 | 1158,9 | 189,3 | 19,6 | 6,5 | 52,4 | 1426,7 | 0,0925 | 0,0151 | 0,0016 | 0,0042 | 0,1139 | |
| RDB15, R1 | 95,5x16,5x5,3 | 3,3/ 3,54 | 3886/ 4272 | 1113,6 | 26,7 | 19,7 | 7 | 47 | 1214 | 0,1333 | 0,0032 | 0,0024 | 0,0056 | 0,1454 | |
| RDB16, M-III | 120,0x16,5x5,0 | 3,3 | 4649 | 1153,6 | 162,5 | 21,3 | 26,5 | 63,4 | 1427,27 | 0,1165 | 0,0164 | 0,0022 | 0,0064 | 0,1442 | |
| RDB21, P | 84,4x17,0x4,4 | 1,8/ 2,35 | 1896/ 2650 | 451 | 18,8 | 10 | 3,5 | 10 | 493,3 | 0,0714 | 0,0030 | 0,0016 | 0,0016 | 0,0781 | |
| CF-1003,2, R2-RSN | 117,6x16,5x5,9 | 3,6/ 4,5 | 4220/ 6020 | 1381,5 | 356 | 40 | 20 | 26 | 1823,5 | 0,1187 | 0,0306 | 0,0034 | 0,0022 | 0,1566 | |
| CF-1003,6, O | 110,0x20,0x3,4 | 1,8 | 2679 | 841,55 | 48,24 | 15 | 3,5 | 56,47 | 964,76 | 0,1125 | 0,0064 | 0,0020 | 0,0075 | 0,1290 | |
| Существующие суда | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4000 (проект), O | 97,0x18,0x4,3 | 3,8 | 4000 | 605 | 32 | 4,5 | - | - | 694 | 0,0806 | 0,0043 | 0,0006 | - | 0,1460 | |
| P56, P | 83,5x16,5x3,85 | 2,63 | 2800 | 390 | 22 | 2,2 | - | - | 420 | 0,1 | 0,0056 | 0,00056 | - | 0,107 | |
| 16800, O | 98x16,5x2,8 | 2,2 | 2500 | 725 | 30 | 7,7 | - | - | 790 | 0,16 | 0,0067 | 0,0017 | - | 0,175 | |
| 489A, P | 76,8x15x2,5 | 2 | 1700 | 234,3 | 16,8 | 2,7 | - | - | 267 | 0,081 | 0,0058 | 0,00094 | - | 0,148 | |
| 132A, O | 66,3x14x2 | 1,52 | 1000 | 174 | 14 | 1,8 | - | - | 214 | 0,094 | 0,0058 | 0,00097 | - | 0,115 | |
| 942, P | 63,1x13x2 | 1,54 | 1000 | 209 | 13,5 | 1,6 | - | - | 223 | 0,118 | 0,00716 | 0,00097 | - | 0,126 | |
| 943, P | 55x12x2 | 1,37 | 600 | 117 | 10,4 | 0,86 | - | - | 187 | 0,089 | 0,0079 | 0,00065 | - | 0,142 | |
| 1653, JI | 60,6x11,8x1,6 | 1 | 500 | 100 | 9,2 | 1,1 | - | - | 127 | 0,083 | 0,00099 | 0,00059 | - | 0,114 | |
| 197, JI | 40,9x1,4 | 0,88 | 200 | 49,5 | 4,3 | 0,38 | - | - | 60 | 0,098 | 0,0085 | 0,00076 | - | 0,119 | |
| 1366, JI | 34,5x6,4x1,3 | 0,86 | 130 | 29,4 | 3 | 0,23 | - | - | 38 | 0,101 | 0,0183 | 0,00079 | - | 0,131 | |

Продолжение табл. 1

| Проект, район плавания | L x B x D, м | d, м | P, т | P _к , т | P _в , т | P _{ос} , т | P _{св} , т | Δ _{вир} ³ , т | Δ _{вир} , т | P _{гир} /LBD, т/м ³ | P _г /LBD, т/м ³ | P _{ос} /LBD, т/м ³ | Δ _{вир} /LBD, т/м ³ | Δ _{вир} /LBD, т/м ³ |
|---------------------------|-----------------------------------|---------|---------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--|--|---|--|--|
| Р156, О | 112,0x14,0x 15,0 (головная) | 3,7 | 9070 | 1780 | 65 | 9,1 | - | - | 1940 | 0,113 | 0,0041 | 0,00058 | - | 0,123 |
| | 113,4x14x5 (концевая) | | | | | | | | | | | | | |
| 1787У, Р | 112,2x14x4,8 (головная) | 3,5 | 8900 | 1190 | 66 | 9 | - | - | 1330 | 0,081 | 0,0043 | 0,00059 | - | 0,088 |
| | 113,4x14x4,8 (концевая) | | | | | | | | | | | | | |
| 1787, О | 96,0x14x4,8 (головная) | 3,5 | 7500 | 921 | 56 | 8 | - | - | 1047 | 0,071 | 0,0043 | 0,00062 | - | 0,081 |
| | 97,2x14x4,8 (концевая) | | | | | | | | | | | | | |
| Р79, О | 96,4x14x5 | 3,5 | 3750- 4000 | 580 | 37 | 3,5 | - | - | 670 | 0,086 | 0,0055 | 0,00052 | - | 0,095 |
| | 108x14x5,3 | | | | | | | | | | | | | |
| Р29, О | 85x16,5x4 | 2,8 | 3000 | 480 | 18 | 4,6 | - | - | 523 | 0,085 | 0,0032 | 0,00082 | - | 0,093 |
| | 84,6x14x4,5 | | | | | | | | | | | | | |
| 461б, О | 84,6x14x4,5 | 3,2 | 2860 | 345 | 26 | 1,2 | - | - | 396 | 0,065 | 0,0032 | 0,00022 | - | 0,074 |
| | 86,7x14x3,5 | | | | | | | | | | | | | |
| Р85, О | 86,7x14x3,5 | 2,7 | 2500 | 390 | 26 | 1,3 | - | - | 435 | 0,092 | 0,0038 | 0,0003 | - | 0,102 |
| | 78,9x13x3,5 | | | | | | | | | | | | | |
| 462, О | 78,9x13x3,5 | 2,5 | 1800 | 238 | 15 | 1 | - | - | 274 | 0,067 | 0,0042 | 0,00028 | - | 0,076 |
| | 75,1x13x3,5 | | | | | | | | | | | | | |
| 567, О | 75,1x13x3,5 | 2,5 | 1800 | 221 | 18 | 2 | - | - | 303 | 0,065 | 0,0053 | 0,00058 | - | 0,089 |
| | 67,2x14x2,5 | | | | | | | | | | | | | |
| 1267, О | 67,2x14x2,5 | 1,7 | 1000 | 290 | 17 | 2 | - | - | 356 | 0,124 | 0,0072 | 0,00085 | - | 0,15 |
| | 62x11x2,6 | | | | | | | | | | | | | |
| 2350, Р | 62x11x2,6 | 1,9 | 1000 | 139 | 13 | 0,7 | - | - | 155 | 0,077 | 0,0072 | 0,00039 | - | 0,085 |
| | 55x9x2,3 | | | | | | | | | | | | | |
| Р57, Р | 55x9x2,3 | 1,7 | 600 | 106 | 9 | 0,6 | - | - | 120 | 0,093 | 0,0079 | 0,00052 | - | 0,105 |
| | 85x14,5x3,7 | | | | | | | | | | | | | |
| Финляндтер, М | 60x12x3,6 | 2,4 | 1000 | 234 | 25 | 3,3 | - | - | 327 | 0,049 | 0,0055 | 0,00072 | - | 0,072 |
| | 72x10x4,8 | | | | | | | | | | | | | |
| 430, М | 72x10x4,8 | 2,7 | 1000 | 296 | 60,5 | 2,6 | - | - | 451 | 0,086 | 0,017 | 0,00075 | - | 0,135 |
| | | | | | | | | | | | | | | |

Продолжение табл. 1

| Проект, район плавания | L x B x D, м | d, м | P, т | P ₆ , т | P ₄ , т | P ₀₀ , т | P _{св} , т | Δ _{св} ³ , т | Δ _{св} , т | F _{мв} /LBD, т/м ³ | F _р /LBD, т/м ³ | F _{оо} /LBD, т/м ³ | Δ _{св} ² /LBD, т/м ³ | Δ _{св} /LBD, т/м ³ |
|----------------------------------|---------------------------|---------|---------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|---|--|---|--|---|
| 278, Р | 74,8x15x2 | 1,3 | 1000 | 200 | 21,6 | 2,3 | - | - | 285 | 0,089 | 0,01 | 0,00103 | - | 0,13 |
| 596, Р | 42,1x10x1,9 | 1,1 | 300 | 52 | 8,6 | 0,7 | - | - | 95 | 0,066 | 0,0109 | 0,00089 | - | 0,12 |
| 503, Л | 25x5,5x1,2 | 0,7 | 60 | 10 | 0,8 | 0,1 | - | - | 21 | 0,061 | 0,005 | 0,00061 | - | 0,13 |
| К-48, Л | 20x5x1,1 | 0,6 | 40 | 7,4 | 0,7 | 0,1 | - | - | 9 | 0,067 | 0,0063 | 0,00091 | - | 0,082 |
| рейдовий | LBD = 2880 м ³ | - | 1150 | 312 | 57,6 | 8,6 | - | - | 377 | 0,1085 | 0,02 | 0,003 | - | 0,131 |
| рейдовий | LBD = 7450 м ³ | - | 3000 | 827 | 149 | 22,3 | - | - | 1065 | 0,111 | 0,02 | 0,003 | - | 0,143 |
| 03060, R2-RSN | 100x16,5x4,2 | 2,99 | 3600 | - | - | - | - | - | 1040 | - | - | - | - | 0,150 |
| ГРПН-360, R3-RSN | 85,5x16,5x4,5 | 3,11 | 3000 | - | - | - | - | - | 1209 | - | - | - | - | 0,190 |
| C14920, M-СП | 70,4x11x3,9 | 3,089 | 1970 | - | - | - | - | - | 428 | - | - | - | - | 0,142 |
| 003040, M-СП | 97x16,5x5 | 3,8 | 4643 | - | - | - | - | - | 874 | - | - | - | - | 0,109 |
| 003020, O-IP (РЕКЛ В М-СП) | 97x16,5x4,5 | 3,5 | 4002 | - | - | - | - | - | 798 | - | - | - | - | 0,111 |
| 05074, O-IP | 115,9x16,5x5,5 | 3,5 | 5100 | 980 | - | - | - | - | 1050 | 0,093 | - | - | - | 0,100 |
| 81100 (перев.) O-IP (РЕКЛ) | 69,6x14x2 | 1,529 | 868 | - | - | - | - | - | 382 | - | - | - | - | 0,196 |
| 82, М | 97,48x16,5x 5,34 | 3,6 | 4200 | - | - | - | - | - | 1012 | - | - | - | - | 0,118 |
| 82100, М | 83,24x14x4,5 | 3,73 | 3000 | - | - | - | - | - | 610 | - | - | - | - | 0,116 |
| NBL-90, BI/O | 90x16x5,2 | 3,756 | 4500 | - | - | - | - | - | 903 | - | - | - | - | 0,121 |
| 90035, BI/O | 76,5x11,4x3,2 | 2,64 | 1386 | - | - | - | - | - | 428 | - | - | - | - | 0,153 |
| 1960, O | 84,64x16,5x3,3 | 2,8 | 2905 | - | - | - | - | - | 497 | - | - | - | - | 0,108 |

Продолжение табл. 1

| Проект, район плавания | L x B x D, м | d, м | P, т | P _к , т | P _н , т | P _{ос} , т | P _{ст} , т | $\Delta_{гор}^j$, т | $\Delta_{гор}$, т | P _{инт} /LBD, т/м ³ | P _у /LBD, т/м ³ | P _{оо} /LBD, т/м ³ | $\Delta_{гор}^j$ /LBD, т/м ³ | $\Delta_{гор}$ /LBD, т/м ³ |
|---|-----------------|---------|---------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|--|--|---|--|--|
| 19680, O | 60,5x14x1,25 | 0,794 | 400 | - | - | - | - | - | 246 | - | - | - | - | 0,232 |
| 47,04, O | 35x8,4x1,4 | 1 | 200 | - | - | - | - | - | 67 | - | - | - | - | 0,163 |
| 461Г, O | 85,48x14x4,5 | 3,2 | 2880 | - | - | - | - | - | 731 | - | - | - | - | 0,136 |
| 81060, O | 106,8x14x4,5 | 3,75 | 4500 | - | - | - | - | - | 806 | - | - | - | - | 0,120 |
| 82260, O | 74x15x2,6 | 2,18 | 1852 | - | - | - | - | - | 340 | - | - | - | - | 0,121 |
| 81500, O | 88x14x4,2 | 3,2 | 3060 | - | - | - | - | - | 552 | - | - | - | - | 0,107 |
| 81300, O | 112,4x16,5x4 | 3,2 | 5000 | - | - | - | - | - | 1137 | - | - | - | - | 0,153 |
| 4993 / 1408 переоб. тяжеловес, O1.2 | 58x13,26x2,09 | | 974 | - | - | - | - | - | 267 | - | - | - | - | 0,166 |
| 831 (СДП-1101), Р | 77,45x10x2,71 | 2,33 | 1148 | - | - | - | - | - | 249 | - | - | - | - | 0,119 |
| 01502597, Р | 64,92x14,61x1,9 | 1,68 | 1170 | - | - | - | - | - | 250 | - | - | - | - | 0,139 |
| 260, Р | 67,8x14x2 | 1,48 | 1000 | - | - | - | - | - | 208 | - | - | - | - | 0,110 |
| 183БМ, Р | 35x7,5x1,3 | 1,04 | 200 | - | - | - | - | - | 48,9 | - | - | - | - | 0,143 |
| 432, Р | 78,8x16x2,5 | 2,17 | 2000 | - | - | - | - | - | 324 | - | - | - | - | 0,103 |
| 562328, Р | 67,8x16x2 | 1,5 | 1000 | - | - | - | - | - | 240 | - | - | - | - | 0,111 |
| 81218, Р | 58x13,26x1,79 | 1,57 | 940 | - | - | - | - | - | 190 | - | - | - | - | 0,138 |
| 81210, Р | 38x8,07x1,3 | 1,1 | 245 | - | - | - | - | - | 75 | - | - | - | - | 0,188 |

Источник: данные по существующим баржам – [1, 2, РРР, РМРС]

Таблиця 2

Некоторые характеристики нефтеналивных самоходных судов

| Проект, район ялавания | L x B x D, м | Г, т | F _б , т | F _г , т | F _{ос} , т | F _{сп} , т | Δ _{сп} , т | F _{изл/LBD} , т/м ³ | F _{в/LBD} , т/м ³ | F _{ос/LBD} , т/м ³ | Δ _{сп} ³ /LBD, т/м ³ | Δ _{сп} ² /LBD, т/м ³ | Δ _{сп} /LBD, т/м ³ | |
|-----------------------------------|-----------------|--------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--|--|---|--|--|---|--------|
| Проекты Морского Инженерного Бюро | | | | | | | | | | | | | | |
| 004ROB05, M-IP | 92,58x16,5x5 | 3,4 | 3900 | 686 | 31,2 | 37,8 | 8,4 | 38 | 801,4 | 0,0898 | 0,0041 | 0,0049 | 0,0011 | 0,1049 |
| 005ROB04, M-IP | 119,11x16,5x5 | 3,6 | 5132 | 1218 | 54,3 | 49,5 | 12 | 26,8 | 1360,6 | 0,1239 | 0,0055 | 0,0050 | 0,0012 | 0,1385 |
| ROB07, R3-RSN | 94,88x16,5x5 | 3,5/ 3,6 | 4244/ 4403 | 846,74 | 26,81 | 24,79 | 14,52 | 27,2 | 940,06 | 0,1082 | 0,0034 | 0,0032 | 0,0019 | 0,1201 |
| ROB21, P | 84,4x17x4,4 | 1,8/ 2,35 | 1801/ 2555 | 477,59 | 19,86 | 65 | 6 | 20 | 588,5 | 0,0757 | 0,0031 | 0,0103 | 0,0010 | 0,0932 |
| CP.1003.1, R2-RSN | 117,6x16,5x6 | 3,6/ 4,5 | 4264/ 6060 | 1588 | 56 | 40 | 20 | 76 | 1780 | 0,1364 | 0,0048 | 0,0034 | 0,0017 | 0,1529 |
| CP.1003.5, O | 110x20x2,85 | 1,8 | 2649 | 847,03 | 53,31 | 30 | 8,5 | 55,82 | 994,66 | 0,1351 | 0,0085 | 0,0048 | 0,0014 | 0,1586 |
| Существующие суда | | | | | | | | | | | | | | |
| 10590 (проект), O | 160x22x3,83 | 3,61 | 10500 | 840 | 44,8 | 39 | - | - | 1042 | 0,062 | 0,0033 | 0,0029 | - | 0,077 |
| P43, O | 113x27x5,2 | 4 | 9200 | 1046 | 87 | 82 | - | - | 1292 | 0,066 | 0,0055 | 0,0052 | - | 0,081 |
| 428, O | 132,7x19x3,55 | 3,2 | 6000 | 423 | 42,6 | 37 | - | - | 576 | 0,047 | 0,0045 | 0,0041 | - | 0,064 |
| 4035, O | 108,6x16x3,35 | 2,85 | 3700 | 403 | 36,4 | 35 | - | - | 533 | 0,068 | 0,0062 | 0,006 | - | 0,092 |
| P27, P | 110x20x2,85 | 2,6 | 3000 | 378 | 24,5 | 22 | - | - | 458 | 0,064 | 0,0039 | 0,0035 | - | 0,073 |
| P54, P | 84,4x16,5x2,85 | 2,63 | 2870 | 352 | 12 | 10 | - | - | 385 | 0,069 | 0,003 | 0,0025 | - | 0,097 |
| P28, P | 76,8x15x2,5 | 2,3 | 1960 | 227 | 14 | 19 | - | - | 283 | 0,079 | 0,0049 | 0,0066 | - | 0,098 |
| 460, P | 76x15x2,5 | 2,3 | 1500 | 220 | 24 | 6,5 | - | - | 290 | 0,078 | 0,0084 | 0,0023 | - | 0,102 |
| 276, P | 74,6x13x1,7 | 1,3 | 1000 | 192 | 18,5 | 10,6 | - | - | 272 | 0,1 | 0,01 | 0,006 | - | 0,14 |
| 569, P | 55x12x1,8 | 1,6 | 750 | 144 | 9,5 | 16,2 | - | - | 144 | 0,07 | 0,008 | 0,014 | - | 0,121 |

Продолжение табл. 2

| Проект, район плавання | L x B x D, м | d, м | P, т | F _к , т | F _в , т | P _{ос} , т | F _{сб} , т | Δ _{мер} ³ , т | Δ _{мер} , т | F _{мд} /LBD, т/м ³ | P _в /LBD, т/м ³ | F _{ос} /LBD, т/м ³ | Δ _{мер} ³ /LBD, т/м ³ | Δ _{мер} /LBD, т/м ³ |
|---------------------------|----------------------------|--------------|-------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---|--|---|---|--|
| 471, Л | 39,5x7x1,4 | 1,09/ 1,2 | 195/ 220 | 54 | 2,9 | 4,6 | - | - | 54 | 0,09 | 0,007 | 0,011 | - | 0,143 |
| 678, Р | 31,9x6,2x1 | 0,81 | 100 | 38,1 | 1,3 | 1,1 | - | - | 38,1 | 0,13 | 0,007 | 0,005 | - | 0,192 |
| 285, Л | 25,5x3x1 | 0,6 | 40 | 20 | 1,8 | 1,5 | - | - | 20 | 0,11 | 0,013 | 0,012 | - | 0,15 |
| 5000 т/п, рейдова | LBD = 10300 м ³ | - | 5000 | 1169 | 61,8 | 31,9 | - | - | 1298 | 0,1135 | 0,006 | 0,0031 | - | 0,126 |
| 500 т/п, морская | LBD = 1495 м ³ | - | 500 | 224 | 23,9 | 40,4 | - | - | 307 | 0,15 | 0,016 | 0,027 | - | 0,205 |
| 250 т/п, морская | LBD = 665 м ³ | - | 250 | 136 | 9,3 | 23,3 | - | - | 181 | 0,205 | 0,014 | 0,035 | - | 0,272 |
| 16806, R2-RSN | 125,5x16,5x6,2 | 3,7 | 4350 | - | - | - | - | - | 2100 | - | - | - | - | 0,164 |
| 2731, М-СП | 90,9x16x4,7 | 3,81 | 4100 | - | - | - | - | - | 862 | - | - | - | - | 0,126 |
| 16802М, М-СП | 83x16,5x3,3 | 2,467 | 2385 | - | - | - | - | - | 751 | - | - | - | - | 0,166 |
| 2734, М-ПР | 106,5x16,5x 4,75 | - | 5000 | - | - | - | - | - | 1059 | - | - | - | - | 0,127 |
| 011003В, М-ПР | 95x16,5x5 | 2,79 | 4800 | - | - | - | - | - | 869 | - | - | - | - | 0,111 |
| 16802, М-ПР | 83x16,5x3,3 | 2,54 | 2490 | - | - | - | - | - | 740 | - | - | - | - | 0,164 |
| Р167, О | 111,8x21x4 | 3,5 | 6250 | - | - | - | - | - | 1221,5 | - | - | - | - | 0,130 |
| 1855, О1.5 | 63,8x12x1,8 | 1,38 | 714 | - | - | - | - | - | 169 | - | - | - | - | 0,123 |
| 6,81212, Р | 38x8,1x1,3 | 1,02 | 194 | - | - | - | - | - | 95 | - | - | - | - | 0,237 |
| 82230, Р | 108,20x2,85 | - | 4220 | - | - | - | - | - | 859 | - | - | - | - | 0,140 |
| 82380, Р | 107x21x3 | - | 4500 | - | - | - | - | - | 651 | - | - | - | - | 0,097 |
| Р63, Р | 44x8x1,4 | 0,81 | 200 | - | - | - | - | - | 54 | - | - | - | - | 0,110 |

Источник: данные по существующим баржам – [1, 2, РРР, РМРС]

Таблиця 3

Удельные показатели для несамостоятельных судов нового поколения

| Тип баржи | Зависимость | Значения коэффициентов |
|--|--|--|
| Показатель удельной металлоемкости $RMK = P_{MK}/LBD$, т/м ³ | | |
| Сухогрузные баржи-площадки* | $\alpha - 5 \cdot 10^{-4} LBD$ (для класса J1, R3-RSN); $\alpha - 4 \cdot 10^{-4} LBD$ (для класса P, O, O-IP, R1) | 0,1 (J1), 0,1503 (R3-RSN), 0,1052 (P), 0,1333 (O), 0,1422 (O-IP), 0,1631 (R1) 0,0895 (P), 0,1317 |
| Сухогрузные бункерные баржи | $\alpha - 3 \cdot 10^{-4} LBD$ | (P для перевозок тяжеловесов), 0,1014 (O), 0,1513 (O для перевозок тяжеловесов) |
| Сухогрузные трюмные баржи* | $\alpha - 2 \cdot 10^{-4} LBD$ (для класса J1, P); $\alpha - 3 \cdot 10^{-4} LBD$ (для класса M); $\alpha - 4 \cdot 10^{-4} LBD$ (для класса O-IP); $\alpha - 5 \cdot 10^{-4} LBD$ (для класса R3-RSN); $\alpha - 6 \cdot 10^{-4} LBD$ (для класса R2-RSN, R2) | 0,0643 (J1), 0,0757 (P), 0,0984 (M), 0,1323 (O-IP), 0,154 (M-IP), 0,1722 (R3-RSN), 0,1932 (R2-RSN), 0,1982 (R2) |
| Нефтеналивные баржи | $\alpha - 3 \cdot 10^{-4} LBD$ (для класса J1, P); $\alpha - 4 \cdot 10^{-4} LBD$ (для класса O, M-IP, R3-RSN, R2-RSN) | 0,0753 (J1), 0,0682 (P), 0,1168 (O), 0,1408 (M-IP), 0,1563 (R3-RSN), 0,1777 (R2-RSN) |
| Показатель массы устройств $P_U = P_U/LBD$, т/м ³ | | |
| Сухогрузные баржи-площадки | $\beta - 3 \cdot 10^{-7} LBD$ | 0,0075 (для классических сходов), 0,019 (для «морские» сходов) |
| Сухогрузные бункерные баржи | $\beta - 6 \cdot 10^{-5} LBD$ | 0,806 |
| Сухогрузные трюмные баржи | $\beta - 4 \cdot 10^{-7} LBD$ | 0,015 (для классических сходов), 0,035 (для «морские» сходов) |
| Нефтеналивные баржи | $\beta - 2 \cdot 10^{-7} LBD$ | 0,0078 |

Продолжение табл. 3

| Тип баржи | Зависимость | Значения коэффициентов |
|--|--|--|
| Показатель массы общесудовых систем $P_{oc} = P_{об}/LBD, т/м^3$ | | |
| Сухогрузные баржи-площадки | $\chi + 4 \cdot 10^{-9} LBD$ | 0,0008 (речные баржи), 0,0016 (смешанного плавания) |
| Сухогрузные буксирные баржи | $\chi + 1 \cdot 10^{-9} LBD$ | 0,0004 (речные) |
| Сухогрузные трюмные баржи | $\chi + 3 \cdot 10^{-9} LBD$ (речные баржи); $\chi + 5 \cdot 10^{-9} LBD$ (смешанного плавания) | 0,0008 (речные), 0,0024 (смешанного плавания) |
| Нефтеналивные баржи | $\chi - 3 \cdot 10^{-9} LBD$ | 0,007 |
| Показатель массы энергосистем $P_{en} = P_{en}/LBD, т/м^3$ | | |
| Сухогрузные баржи-площадки | | |
| Сухогрузные буксирные баржи | $\gamma + 6 \cdot 10^{-9} LBD$ | 0,0007 |
| Сухогрузные трюмные баржи | | |
| Нефтеналивные баржи | $\gamma + 7 \cdot 10^{-9} LBD$ | 0,0008 |
| Показатель запаса водоизмещения $\delta_{вop} = \Delta_{вop}/LBD, т/м^3$ | | |
| Сухогрузные баржи-площадки | | |
| Сухогрузные буксирные баржи | $\varphi - 9 \cdot 10^{-9} LBD$ | 0,005 |
| Сухогрузные трюмные баржи | | |
| Нефтеналивные баржи | $\varphi - 1 \cdot 10^{-9} LBD$ | 0,006 |

Продолжение табл. 3

| Тип баржи | Зависимость | Значения коэффициентов |
|-----------------------------------|---|--|
| Сухогрузные баржи-площадки | Показатель водоизмещения порожнем $\Delta_{\text{пор}} = \Delta_{\text{бар}} - k \cdot y \cdot LBD$, т/м ³ $\xi - 9 \cdot 10^{-5} LBD + 4 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса J); $\xi - 1 \cdot 10^{-5} LBD + 4 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса P); $\xi - 1 \cdot 10^{-5} LBD + 2 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса O, M); $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 9 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса O-IP, M-IP, M-CP); $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 8.5 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса R3-RSN, R3, R2-RSN, R2); $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 9.3 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса R1) | 0,1269 (J), 0,1508 (P), 0,19 (O), 0,195 (M), 0,2261 (O-IP), 0,2285 (M-IP), 0,231 (M-CP), 0,24 (R3-RSN), 0,242 (R3), 0,2436 (R2-RSN), 0,2445 (R2), 0,2481 (R1) |
| Сухогрузные бункерные баржи | $\xi - 5 \cdot 10^{-5} LED + 2 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса P); $\xi - 8 \cdot 10^{-6} LBD + 3 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса P, тяжеловесные грузы); $\xi - 7 \cdot 10^{-6} LBD + 2 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса O); $\xi - 8 \cdot 10^{-6} LBD + 2 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса O, тяжеловесные грузы); $\xi - 7 \cdot 10^{-6} LBD + 2 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса M); $\xi - 9 \cdot 10^{-6} LBD + 3 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса M, тяжеловесные грузы); | 0,1 (P), 0,1447 (P, тяжеловесные), 0,1233 (O), 0,1799 (O, тяжеловесные), 0,1465 (M), 0,2033 (M, тяжеловесные) |
| Сухогрузные трюмные баржи | $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 1.3 \cdot 10^{-9} (LBD)^2$ (для класса J); $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 1 \cdot 10^{-9} (LBD)^2$ (для класса P); $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 7.7 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса O); $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 7 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса M); $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 6 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса O-IP); $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 6.5 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса M-IP, M-CP); $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 7.8 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса R3-RSN, R3, R2-RSN, R2, R1) | 0,11 (J), 0,1545 (P), 0,205 (O), 0,22 (M), 0,24 (O-IP), 0,245 (M-IP), 0,248 (M-CP), 0,26 (R3-RSN), 0,262 (R3), 0,265 (R2-RSN), 0,27 (R2), 0,275 (R1) |
| Нефтеливные баржи | $\xi - 3 \cdot 10^{-5} LBD + 2 \cdot 10^{-9} (LBD)^2$ (для класса J); $\xi - 3 \cdot 10^{-5} LBD + 1.9 \cdot 10^{-9} (LBD)^2$ (для класса P); $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 7 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса O, M, O-IP, M-IP, M-CP); $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 6.5 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса R3-RSN, R3); $\xi - 2 \cdot 10^{-5} LBD + 6 \cdot 10^{-10} (LBD)^2$ (для класса R2-RSN, R2, R1); | 0,15 (J), 0,185 (P), 0,22 (O), 0,227 (M), 0,23 (O-IP), 0,24 (M-IP), 0,245 (M-CP), 0,26 (R3-RSN), 0,262 (R3), 0,287 (R2-RSN), 0,297 (R2), 0,312 (R1) |

* - Для барж-площадок и трюмных барж $P_{\text{дк}} = P_{\text{дк}} / k \cdot c \cdot LBD$

Водоизмещение порожнем для несамоходных судов смешанного плавания через показатель $\delta_{пор}$ можно определять по следующей формуле $\Delta_{пор} = c \cdot k \cdot y \cdot \delta_{пор} \cdot LBD$, где k – коэффициент, учитывающий особенности конструкции корпуса, при перевозке тяжелых грузов $k = 1,1$, при перевозке стандартных грузов $k = 1$;

y – коэффициент, учитывающий тип сцепного устройства и люкового закрытия, при установке «морского» сцепного устройства и / или массивных металлических крышек:

- на несамоходных сухогрузных судах внутреннего и смешанного плавания $y = 1,14$, при отсутствии указанных позиций $y = 1,05$;

- на несамоходных нефтеналивных судах внутреннего и смешанного плавания $y = 1,01$, при отсутствии указанных позиций $y = 1$.

К примеру, в первом приближении необходимо оценить водоизмещение порожнем сухогрузной трюмной баржи смешанного плавания класса R2-RSN. На барже предусматривается установка «морского» сцепного устройства, расчетные значения главных размерений: $L = 120,5$ м, $B = 16,8$ м, $D = 5,5$ м (кубический модуль $LBD = 11134$ м³), $C_b = 0,93$. Как было отмечено выше,

$$\Delta_{пор} = P_{mk} + P_y + P_{oc} + P_{cay} + \Delta_{пор}^3 \cdot$$
$$P_{mk} = c \cdot p_{mk} \cdot LBD.$$

P_{mk} по данным таблицы 3 для класса R2-RSN

$$p_{mk} = \alpha - 6 \cdot 10^{-6} LBD,$$

где $\alpha = 0,1932$.

$$p_{mk} = 0,1932 - 6 \cdot 10^{-6} \cdot 11134 = 0,126.$$

$$c = \left(\frac{C_b}{C_b^i} - 1 \right) \cdot \mu + 1 = \left(\frac{0,93}{0,89} - 1 \right) \cdot 0,78 + 1 = 1,035.$$

$$P_{mk} = 1,035 \cdot 0,126 \cdot 11134 = 1452 \text{ т.}$$

$$P_y = p_y \cdot LBD.$$

p_y по данным таблицы 3 для барж с «морским» сцепом

$$p_y = \beta - 4 \cdot 10^{-7} LBD,$$

где $\beta = 0,035$.

$$p_y = 0,035 - 4 \cdot 10^{-7} \cdot 11134 = 0,03.$$

$$P_y = 0,03 \cdot 11134 = 334 \text{ т.}$$

$$P_{oc} = p_{oc} \cdot LBD.$$

P_{oc} по данным таблицы 3 для барж смешанного «река-море» плавания

$$P_{oc} = \chi + 5 \cdot 10^{-8} LBD,$$

где $\chi = 0,0024$.

$$P_{oc} = 0,0024 + 5 \cdot 10^{-8} \cdot 11134 = 0,00296.$$

$$P_{oc} = 0,00296 \cdot 11134 = 33 \text{ т.}$$

$$P_{cзy} = p_{cзy} \cdot LBD.$$

$P_{cзy}$ по данным таблицы 3 для сухогрузных барж

$$P_{cзy} = \gamma + 6 \cdot 10^{-8} \cdot LBD,$$

где $\gamma = 0,0007$.

$$P_{cзy} = 0,0007 + 6 \cdot 10^{-8} \cdot 11134 = 0,00137.$$

$$P_{cзy} = 0,00137 \cdot 11134 = 15 \text{ т.}$$

$$\Delta_{пор}^3 = \delta_{пор}^3 \cdot LBD.$$

$\delta_{пор}^3$ по данным таблицы 3 для сухогрузных барж

$$\delta_{пор}^3 = \varphi - 9 \cdot 10^{-8} \cdot LBD,$$

где $\varphi = 0,005$.

$$\delta_{пор}^3 = 0,005 - 9 \cdot 10^{-8} \cdot 11134 = 0,004.$$

$$\Delta_{пор}^3 = 0,004 \cdot 11134 = 45 \text{ т.}$$

$$\Delta_{пор} = 1452 + 334 + 33 + 15 + 45 = 1879 \text{ т.}$$

Для более быстрой и грубой оценки можно сразу использовать зависимость для определения водоизмещения порожнем

$$\Delta_{пор} = c \cdot k \cdot y \cdot \delta_{пор} \cdot LBD.$$

$\delta_{пор}$ по данным таблицы 3 для класса R2-RSN

$$\delta_{пор} = \xi - 2 \cdot 10^{-5} \cdot LBD + 7,8 \cdot 10^{-10} \cdot (LBD)^2,$$

где $\xi = 0,265$.

$$\delta_{пор} = 0,265 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot 11134 + 7,8 \cdot 10^{-10} \cdot (11134)^2 = 0,139.$$

$k = 1$ (не предусматривается перевозка тяжелых грузов), $y = 1,14$ (предусматривается «морской» сцеп), $c = 1,035$.

$$\Delta_{пор} = 1,035 \cdot 1,14 \cdot 0,139 \cdot 11134 = 1826 \text{ т.}$$

Разница в способах оценки составила 2,82 %.

Выводы. Зависимости, предлагаемые в настоящей статье, получены путем обработки статистических данных спроектированных несамоходных судов, корпусные конструкции которых набраны по Правилам Российского Морского Регистра Судоходства (РМРС) и Российского Речного Регистра (РРР).

Полученные зависимости рекомендуется использовать на начальных стадиях проектирования, к примеру, на этапе технико-экономического обоснования или технического предложения. Для последующих этапов проектирования необходимо применять более точные методы.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Богданов Б.В., Алчуджан Г.А., Жинкин В.Б. Проектирование толкаемых составов и составных судов. – Л.: Судостроение, 1981. – 224 с.
2. Богданов Б.В. Морские и рейдовые баржи. – Л.: Судпромгиз, 1963. – 296 с.
3. Валько Н.Г., Егоров А.Г. Определение весовой нагрузки нефтеналивных судов смешанного плавания в начальной стадии проектирования // Вестник ОНМУ. – Одесса: ОНМУ, 2011. – Вып. 33. – С. 39-46.
4. Егоров А.Г. Постатейное определение весовой нагрузки сухогрузных судов смешанного река-море плавания нового поколения в начальной стадии проектирования // Сб. научн. трудов НУК. – Николаев: НУК, 2013. – № 3. – С. 4-8.
5. Егоров А.Г. Определение весовой нагрузки судов смешанного «река-море» плавания нового поколения в начальной стадии проектирования // Морской Вестник. – 2013. – № 4 (48). – С. 19-22.
6. Егоров Г.В. Проектирование и постройка коастеров и судов смешанного плавания / Судостроение и судоремонт, 2008. – 128 с.
7. Поспелов В.И. Выбор на ЭВМ оптимальных элементов грузовых судов внутреннего плавания. – Л.: Судостроение, 1978. – 76 с.
8. Поспелов В.И., Плащенкова В.А. Транспортные самоходные суда. – М.: Транспорт, 1987. – 192 с.

Стаття надійшла до редакції 15.02.2018

Рецензенти:

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

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

УДК 629.5.01:656.6

**ОБОСНОВАНИЕ НАДВОДНОГО БОРТА
РЕЙДОВОГО ПЕРЕВАЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА
С ТРЮМОМ БЕЗ ЛЮКОВЫХ ЗАКРЫТИЙ
РАСЧЕТНЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ КАЧКИ И ЗАЛИВАЕМОСТИ**

Г.В. Егоров, И.Ф. Давыдов, В.И. Тонюк

Аннотация. В статье обоснована возможность эксплуатации кранового трюмного судна при открытом грузовом трюме на примере судна проекта CV03.

На основе расчетов качки с шестью степенями свободы была выполнена оценка заливаемости грузового трюма кранового судна проекта CV03 при эксплуатации в районе, соответствующем классу на двумерном нерегулярном волнении.

Анализ результатов расчетов показал, что заливание грузового трюма отсутствует, поэтому эксплуатация судна проекта CV03 вполне безопасна при открытом грузовом трюме и максимальной осадке 5,60 м, назначенной в условном предположении о наличии (формальном) люковых крышек, при высоте волны 3 %-й обеспеченности до 5,10 м.

Ключевые слова: крановое судно, трюм, хранение грузов, рейдовая перевалка грузов, надводный борт, качка, заливаемость, теория корабля.

**ОБГРУНТУВАННЯ НАДВОДНОГО БОРТА
РЕЙДОВОГО ПЕРЕВАЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ
З ТРЮМОМ БЕЗ ЛЮКОВИХ ЗАКРИТТІВ
РОЗРАХУНКОВИМ МОДЕЛЮВАННЯМ КАЧКИ ТА ЗАЛИВАНОСТІ**

Г.В. Єгоров, І.Ф. Давидов, В.І. Тонюк

Анотация. У статті обґрунтовано можливість експлуатації кранового трюмного судна при відкритому вантажному трюмі на прикладі судна проекту CV03.

На основі розрахунків хитавиці із шістьма ступенями свободи була виконана оцінка заливаності вантажного трюму кранового судна проекту CV03 при експлуатації в районі, відповідному до класу на двовимірному нерегулярному хвилюванні.

Аналіз результатів розрахунків показав, що заливання вантажного трюму відсутнє, тому експлуатація судна проекту CV03 цілком безпечна при відкритому вантажному трюмі й максимальній осадці 5,60 м, призначеній в умовному припущенні про наявність (формальну) люкових кришок, при висоті хвилі 3 %-ної забезпеченості до 5,10 м.

Ключові слова: кранове судно, трюм, зберігання вантажів, рейдова перевалка вантажів, надводний борт, хитавиця, заливаність, теорія корабля.

RATIONALE OF THE SUPREME BOARD
RAYDAY TRUCKING COMPLEX
WITH THREE WITHOUT PUSH CLOSES
CALCULATED MODELING OF CARTRIDGE AND GRAVITY

G.V. Egorov, I.F. Davydov, V.I. Tonyuk

Abstract. In paper possibility of operation of crane hold vessel with open cargo hold on the example of CV03 project vessel is grounded.

On the basis of calculations of motion with six degrees of freedom the estimation of wettability of cargo hold of crane vessel of CV03 project at operation in class corresponding area on two-dimensional irregular waves has been executed.

The analysis of results of calculations has shown that there is no flooding of cargo hold therefore operation of CV03 project vessel is quite safe with open cargo hold and maximal draught is of 5,60 m assigned in conditional statement of availability (formal) of hatch covers with wave height is up to 5,10 m of 3% probability.

Keywords: crane vessel, hold, storage of cargo, road transshipment, freeboard, motion, wettability, ship theory.

Постановка проблеми. Еще в начале XXI века казалось, что суда смешанного река-море плавания и ограниченных морских районов плавания советских типов «бессмертны». Действительно, благодаря своим выгодным уникальным главным характеристикам – «партионная» грузоподъемность в 5000 / 3000 / 2000 тонн при малых осадках и при относительно малой стоимости, эти суда были вне конкуренции по сравнению с другими типами судов мирового флота. Именно защищенность рыночной «ниши» позволила им достаточно длительное время быть экономически интересными для отечественных владельцев, в том числе и для относительно небольших частных компаний.

Как уже отмечалось [1], интерес к применению судов смешанного плавания (ССП) для работы с речных терминалов на рейдовые перевалочные комплексы (РПК) для доставки массовых грузов во многом определяется недостатком количества глубоководных портов и проблемой доставки груза к этим глубоководным портам по железной дороге и автотранспортом.

Конечная цель – погрузка (выгрузка) СПП на морское судно с дедвейтом от 25 до 300 тыс. тонн в условиях рейда (в режиме STS – ship to Ship – борт о борт).

Однако для успешной реализации такой схемы требуется собственно сам РПК в виде для нефтеналивных грузов танкера-накопителя или для сухих грузов балкера-накопителя со своим (своими) кранами или плавкраном у борта.

При решении задачи по перевалке сухогрузов с достаточно серьезными требованиями к суточной производительности РПК (12-20 тыс.

тонн в сутки и выше), уже сложно применять обычные балкеры со своими кранами.

Поэтому выходом является создание комбинированных РПК в виде специализированного несамоходного судна с мощным высоко производительным краном и зоной для размещения груза. Зона для размещения груза необходима для накопления груза во время перерыва между «большими» судами (фидерные ССП плавания подходят чаще).

Безусловно, в плавучем кране с палубной площадкой для складирования груза нет ничего нового. Они в таких ситуациях, как правило, и применяются.

Но объем груза, который может быть размещен на такой площадке, крайне незначителен. Более эффективным решением является применение трюмного размещения груза. Трюм в свою очередь формально требует наличия «конвенционных» (или, как минимум, водонепроницаемых) люковых закрытий, что дорого и для перевалочного несамоходного комплекса на рейде явно избыточно. Поэтому следует попытаться избежать таких затрат, выполнив закрытия трюма как средство защиты груза от непогоды.

Однако, в свою очередь наличие фактически «открытого» трюма с заметным объемом, который уже сложно трактовать как рецесс, приводит к известным проблемам в назначении надводного борта.

Целью статьи является обоснование надводного борта кранового несамоходного судна с грузовым трюмом без водонепроницаемых люковых закрытий (суда «открытого» типа) на основе расчетного моделирования параметров качки и заливаемости РПК (на примере проекта CV03 Морского Инженерного Бюро).

Изложение основного материала. Исследуемое РПК проекта CV03 представляет собой несамоходную морскую баржу ограниченного района плавания, с формой корпуса в виде прямоугольного понтона с небольшими подрезами в носу и корме, с надстройками бака и юта, с транцевыми носовой и кормовой оконечностями, с грузовым трюмом в средней части, с кормовым расположением жилой надстройки и машинного отделения (см. схему общего расположения на рисунке 1).

Основная идея исследования состоит в том, что такому судну назначается надводный борт в предположении о наличии люковых крышек.

Это решение может быть принято только в том случае, если в условиях реального волнения на рейде трюм РПК не будет заливаться забортной водой (или, по крайней мере, масса забортной воды, попадающей в этот трюм, будет незначительной, и может быть безопасно удалена средствами осушения).

Для обоснования был выполнен широкий комплекс исследований, в том числе расчетное моделирование параметров качки и заливаемости РПК, о котором и идет речь в настоящей публикации.

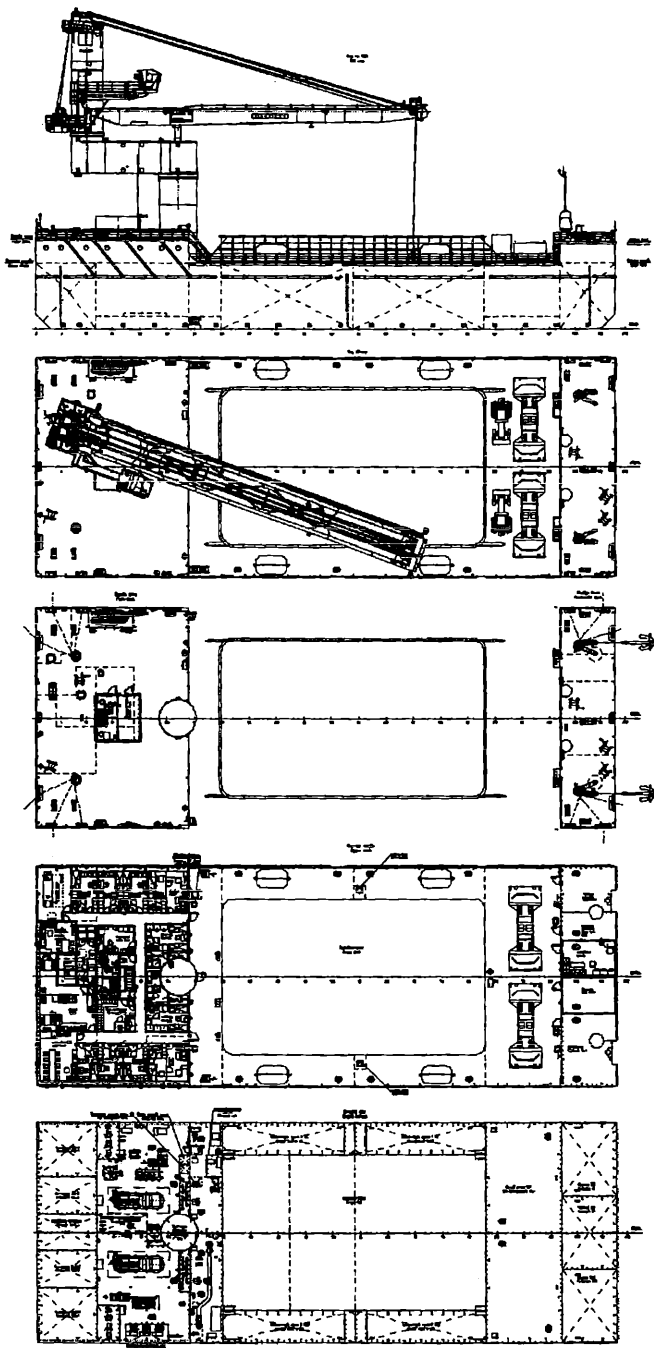


Рис. 1. Общее расположение рейдового перевалочного комплекса

Расчетная оценка заливаемости производилась для судна в полном грузу с учетом шести видов качки на волнении на основе рекомендаций

Циркуляра 608 Комитета по Безопасности на Море MSC/Circular.608/Rev.1 «Interim Guidelines for Open-top Containerships», так как сама задача доказательства безопасности эксплуатации судна без люковых закрытий в море не зависит от типа судна, а вот предполагаемый район эксплуатации с его режимами волнения влияет значительно.

В процессе оценок были выполнены расчеты присоединенных масс и коэффициентов демпфирования; рассчитаны амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики всех шести видов качки, относительных вертикальных перемещений и скоростей (относительно взволнованной поверхности) характерных точек корпуса судна при движении на регулярном волнении с различными курсовыми углами по отношению к набегающему волнению; определены статистические характеристики всех видов качки и кинематических характеристик в условиях нерегулярного двухмерного волнения.

На основе расчетов параметров качки без хода на регулярном и нерегулярном волнении с различными курсовыми углами производились оценки опасности заливаемости грузового трюма.

Была показана возможность безопасной эксплуатации судна на нерегулярном волнении в пределах района плавания с высотой волн трехпроцентной обеспеченности до 5 м включительно (6 баллов по шкале ГУГМС).

Параметры качки на регулярном и нерегулярном волнении определены с помощью известной системы программ «КАЧКА» [2].

В комплексе программ «КАЧКА» использованы две системы координат, связанных с судном.

В программах расчета гидродинамических коэффициентов и передаточных функций качки и волновых нагрузок принята правая система: ось Z проходит через центр тяжести судна и направлена вверх, ось X лежит в ДП и направлена в корму, ось Y – на правый борт, начало координат расположено в плоскости ватерлинии равновесия судна на тихой воде.

Эта система координат приведена на рисунке 2. Символы η_j ($j = 1, \dots, 6$) обозначают положительные направления продольно-горизонтальной, поперечно-горизонтальной, вертикальной, бортовой, килевой качки и рыскания соответственно.

Положительное направление отсчета курсовых углов в расчетах качки показано на рис. 3. Встречному волнению соответствует $\mu = 180^\circ$.

Фазовые углы (запаздывание) определяются относительно максимума волнового склона в начале координат системы XYZ .

В расчетах кинематических характеристик качки на нерегулярном волнении для удобства пользователя принята обычная система координат: начало в точке пересечения ОП, ДП и миделя, ось X направлена в нос, ось Y – на правый борт, ось Z – вертикально вверх.

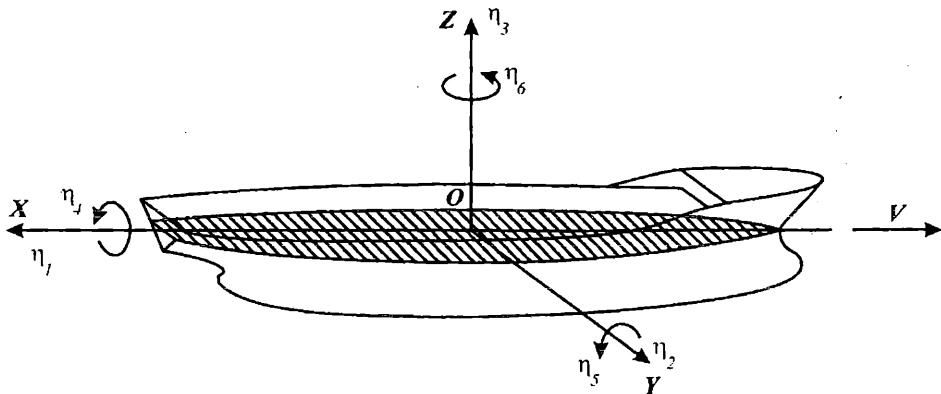


Рис. 2. Система координат в расчетах качки

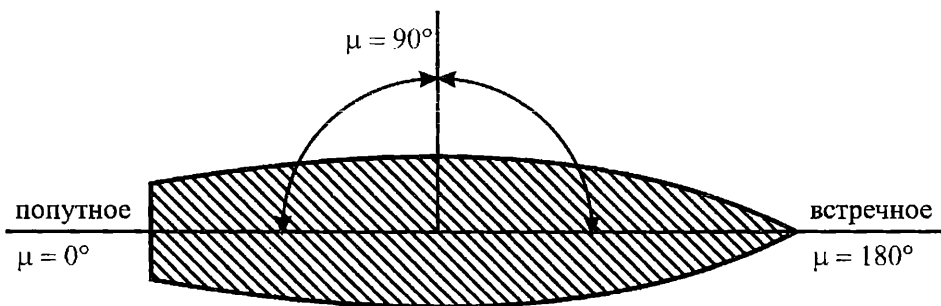


Рис. 3. Отсчет курсовых углов в расчетах качки

Учитывая высокое значение отношения $B/d = 4,29$ для судна в полном грузу при осадке 5,60 м, расчет гидродинамических характеристик качки (ГДХ) производился по методу Франка, что позволило в полной мере учесть все особенности формы корпуса и соотношения главных размеров.

Необходимая точность определения ГДХ обеспечивалась специальным выбором координат точек контуров поперечных сечений.

Результаты расчетов ГДХ, полученные с помощью модуля PROG1B, входящего в комплекс программ «КАЧКА» представлены на рисунках 4 и 5.

Все расчеты производились для судна в грузу без хода и девяти значений курсового угла $\mu - 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ$ и 180° (0° – соответствует попутному волнению, 180° – встречному).

Расчетные крутизны для каждого курсового угла принимались равными $1/90$.

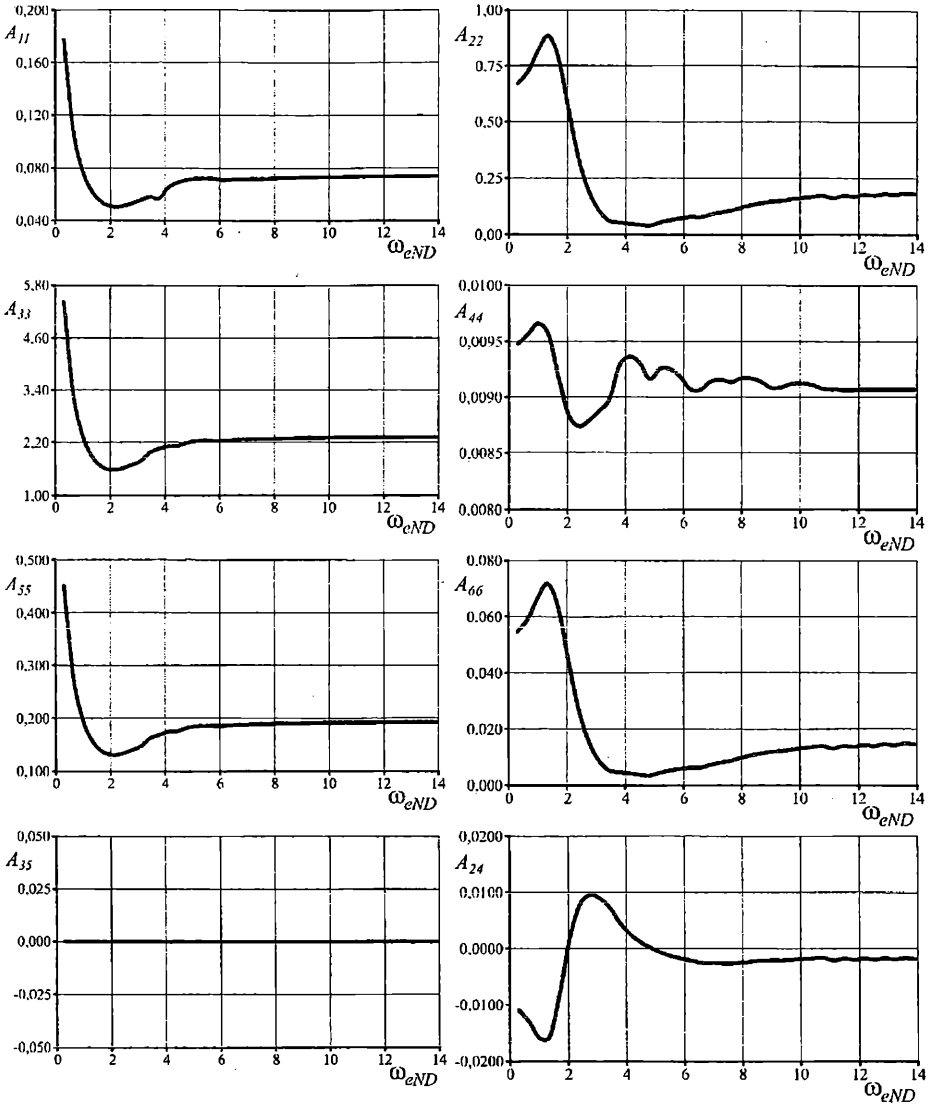
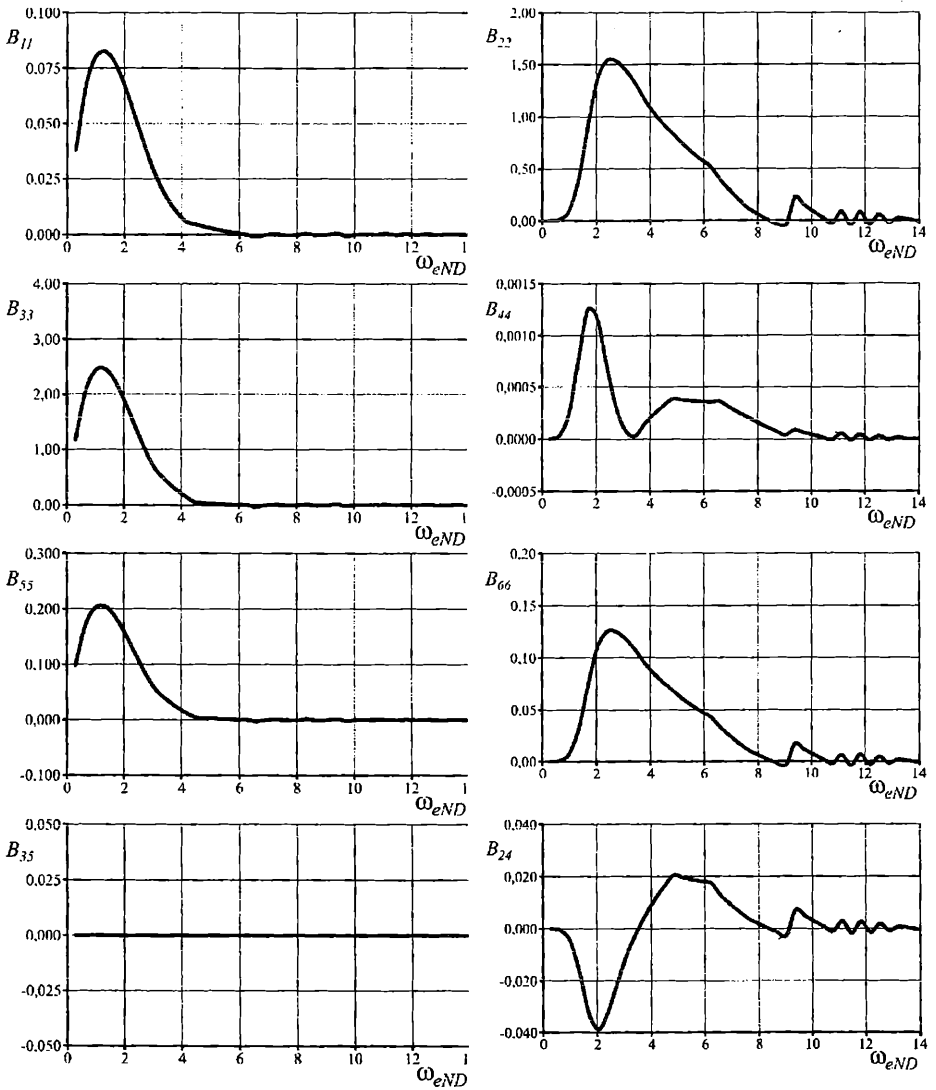


Рис. 4. Обобщенные присоединенные массы $A_{j,k}$ в зависимости от безразмерной кажущейся частоты $\omega_{eND} = \omega_e \sqrt{L/g}$

Амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики всех шести видов качки для состояния судна в грузу (при осадке 5,60 м) для различных курсовых углов представлены на рисунках 6-9.



*Рис. 5. Обобщенные коэффициенты $B_{j,k}$ демпфирования
в зависимости от безразмерной кажущейся частоты $\omega_{eND} = \omega_e \sqrt{L/g}$*

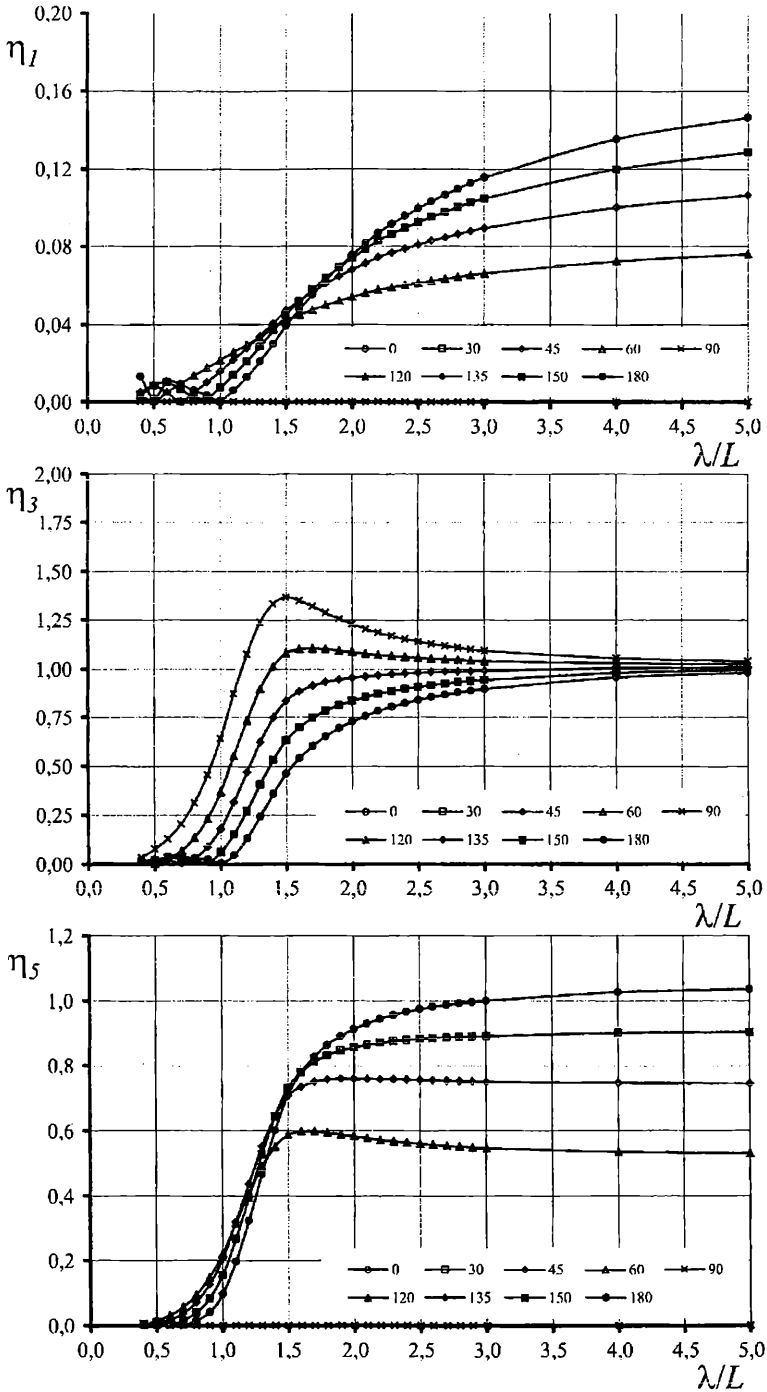


Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики продольной качки

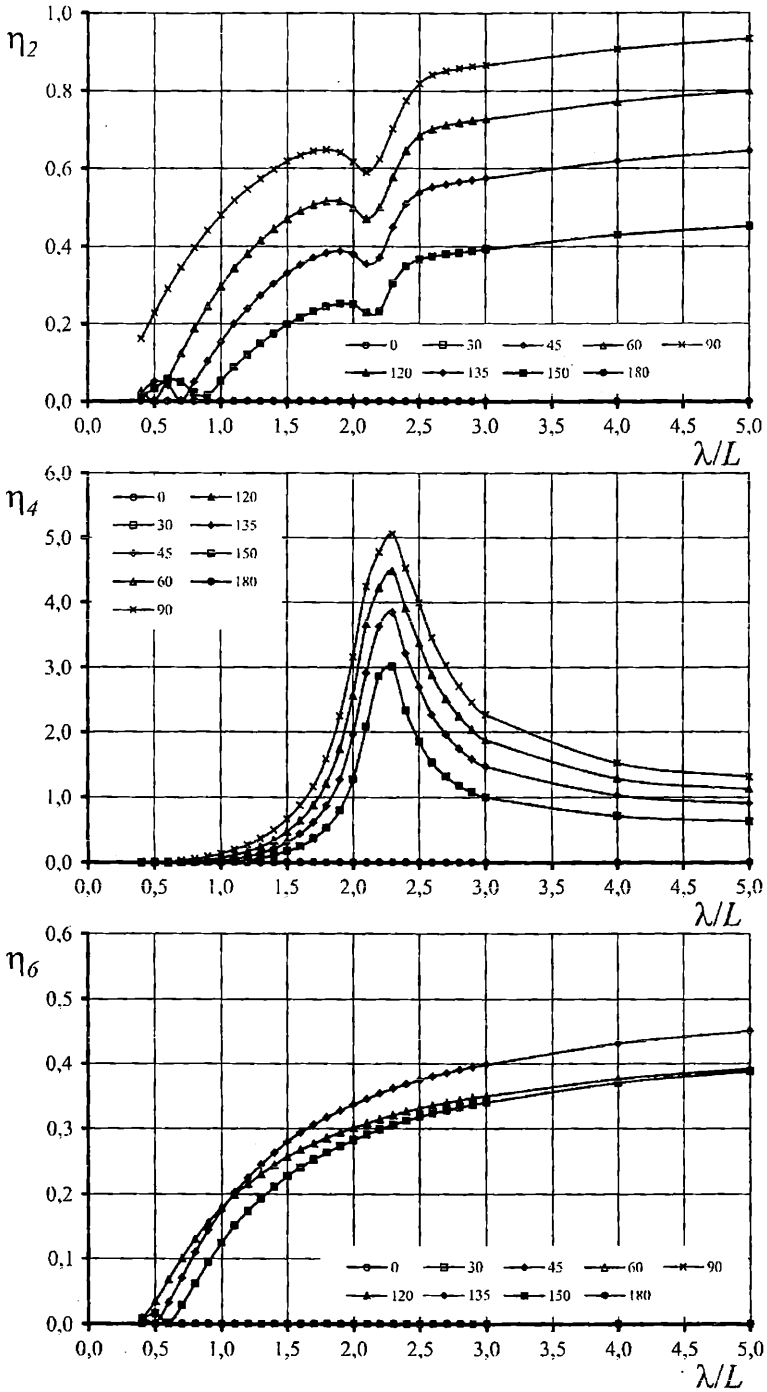


Рис. 7. Амплитудно-частотные характеристики поперечной качки

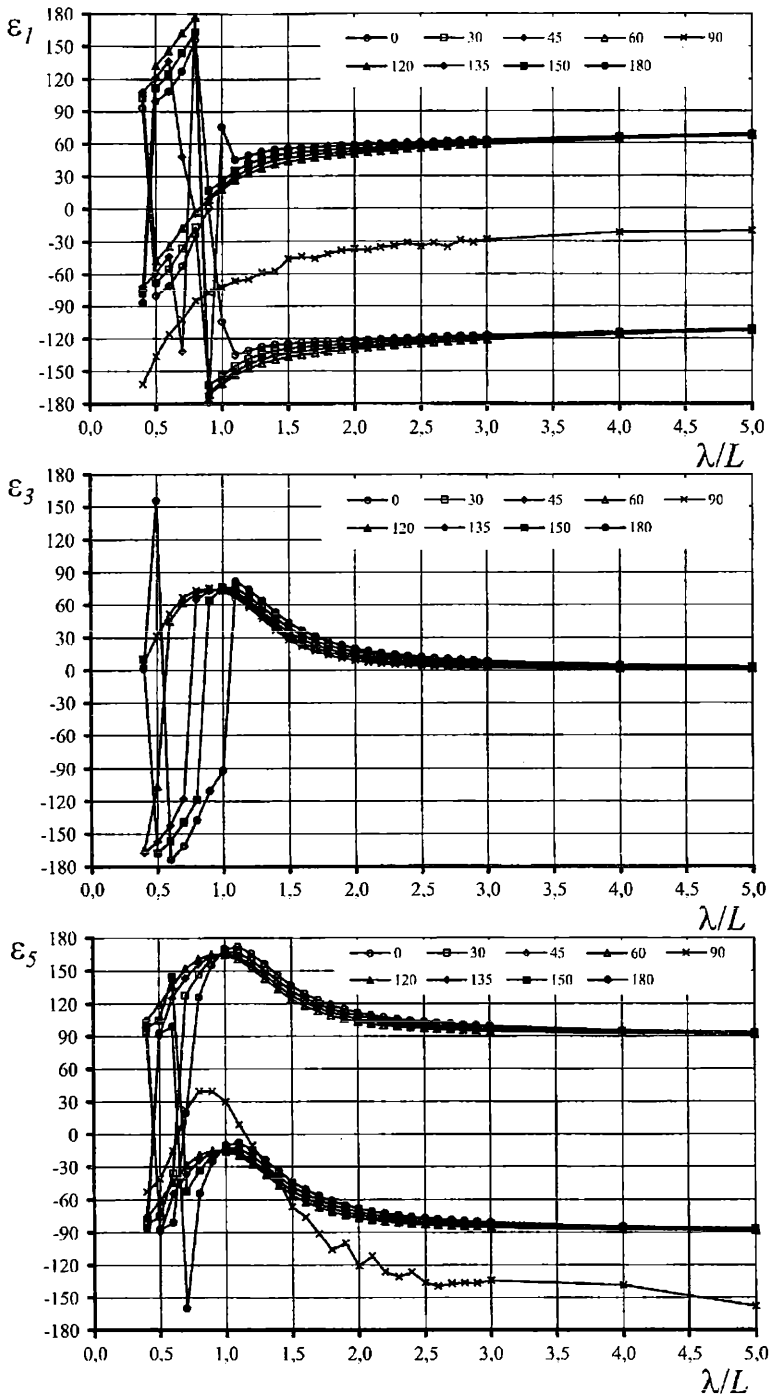


Рис. 8. Фазо-частотные характеристики продольной качки

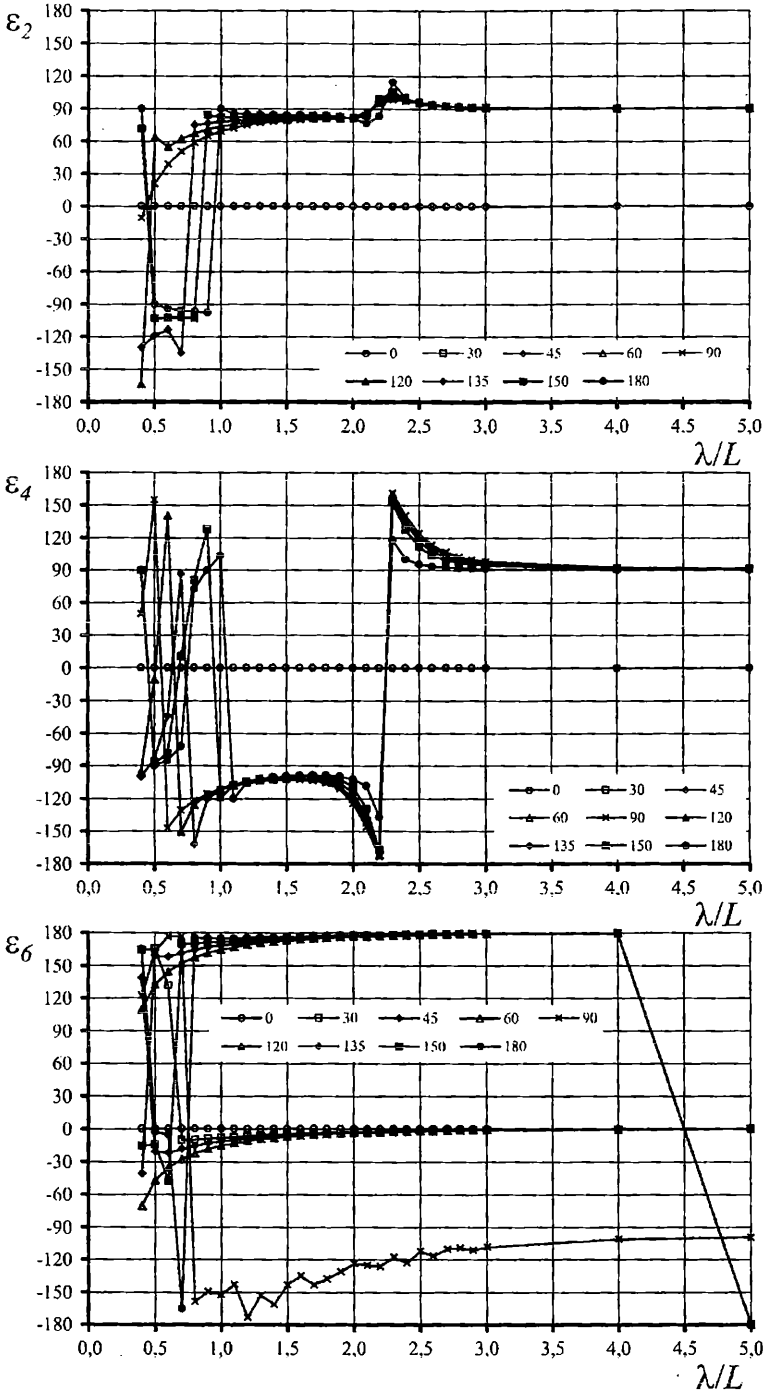


Рис. 9. Фазо-частотные характеристики поперечной качки

Результаты расчетов стандартов относительных перемещений характерных точек кромок комингса грузового трюма на нерегулярном двумерном волнении для условной (удобной для графического представления) высотой волны трехпроцентной обеспеченности $h_{3\%} = 10$ м и различных значений среднего периода волнения представлены на рисунках 10, 11.

В качестве характеристики заливаемости была принята максимальная вероятная амплитуда относительных (относительно волнового профиля) вертикальных перемещений верхней кромки комингса грузового люка.

В рамках линейной теории качки максимальная вероятная амплитуда относительных вертикальных перемещений может быть определена по формуле [3]

$$A_{r\max} = k_M \overline{\sigma_r} h_{3\%},$$

где σ_r – стандарт относительных вертикальных перемещений верхней кромки комингса при единичной высоте волны $h_{3\%} = 1$ м; $k_M = \sqrt{2 \ln \frac{T}{\tau}}$.

Здесь T – время нахождения судна на стационарном волнении;
 τ – средний период волнения.

Величину коэффициента k_M нахождения судна на стационарном режиме волнения в течение 3-х суток. Таким образом, $T = 3 \times 24 \times 3600 = 259200$ с;

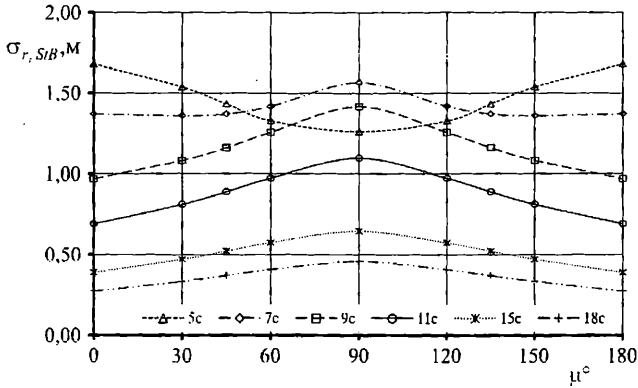
$$k_M = \sqrt{2 \ln \frac{259200}{7}} = 3,243.$$

Допустимая по условиям незаливания наибольшая высота волны трехпроцентной обеспеченности была определена по формуле

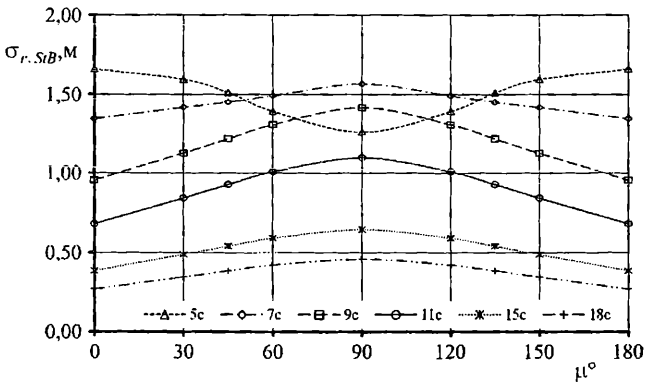
$$h_{3\%} = \frac{F}{k_M \overline{\sigma_r}},$$

где F – отстояние верхней кромки комингса от ватерлинии. При осадке 5,60 м $F = 4,60$ м.

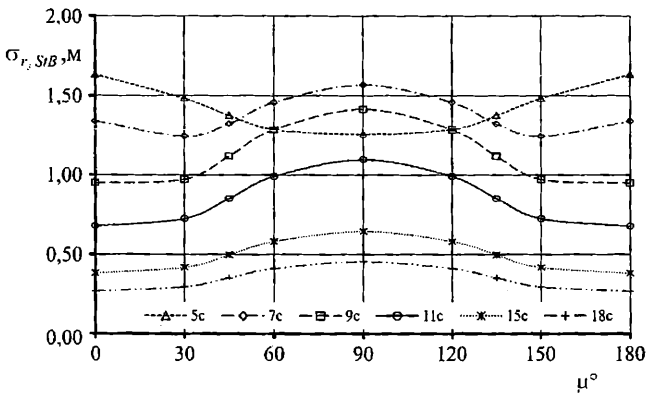
Единичные стандарты относительных вертикальных перемещений комингса по левому борту приведены в таблицах 1-3.



a)

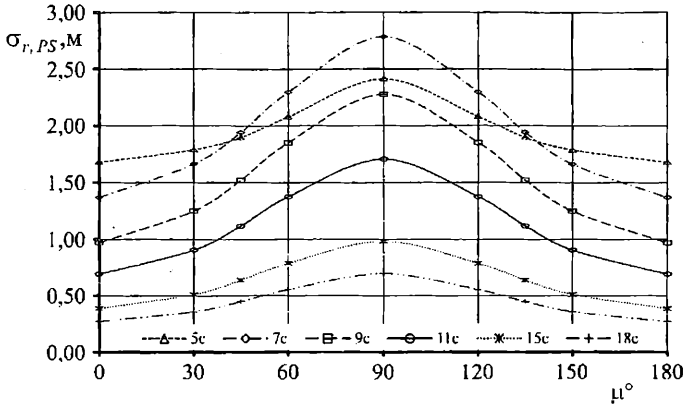


б)

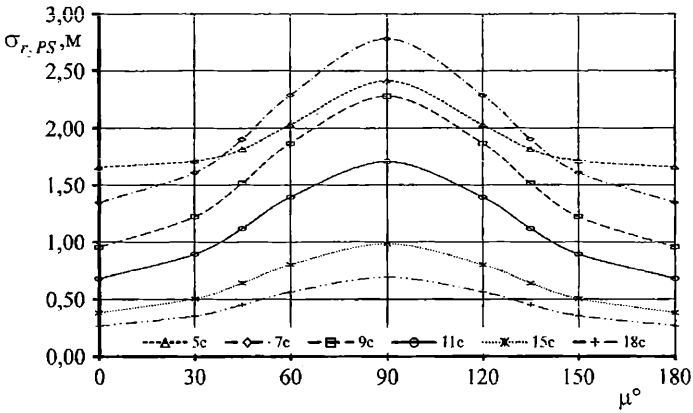


в)

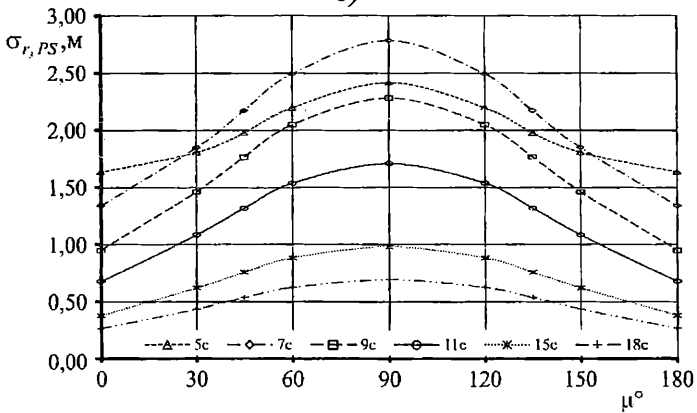
Рис. 10. Стандарти относительных вертикальных перемещений:
 а) кормового комингса грузового люка на правом борту;
 б) комингса грузового люка в миделевом сечении на правом борту;
 в) носового комингса грузового люка на правом борту



a)



б)



в)

Рис. 11. Стандарти относительных вертикальных:
а) кормового комингса грузового люка на левом борту;
б) комингса грузового люка в миделевом сечении на левом борту;
в) носового комингса грузового люка на левом борту

Наибольший единичный стандарт соответствует положению судна лагом к волне и среднему периоду волнения 7 с. Таким образом, расчетная величина единичного стандарта составляет 0,278 м.

Таблица 1

Стандарты относительных вертикальных перемещений кормового комингса грузового люка на левом борту при единичной высоте волны, м

| Средний период волнения, с | Курсовой угол, град | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 | 135 | 150 | 180 |
| 5 | 0,168 | 0,179 | 0,190 | 0,208 | 0,242 | 0,208 | 0,190 | 0,179 | 0,168 |
| 7 | 0,137 | 0,166 | 0,194 | 0,230 | 0,278 | 0,230 | 0,194 | 0,166 | 0,137 |
| 9 | 0,097 | 0,125 | 0,152 | 0,185 | 0,228 | 0,185 | 0,152 | 0,125 | 0,097 |
| 11 | 0,069 | 0,091 | 0,112 | 0,137 | 0,171 | 0,137 | 0,112 | 0,091 | 0,069 |
| 15 | 0,039 | 0,051 | 0,064 | 0,079 | 0,098 | 0,079 | 0,064 | 0,051 | 0,039 |
| 18 | 0,027 | 0,036 | 0,045 | 0,055 | 0,069 | 0,055 | 0,045 | 0,036 | 0,027 |

Таблица 2

Стандарты относительных вертикальных перемещений комингса грузового люка в миделевом сечении на левом борту при единичной высоте волны, м

| Средний период волнения, с | Курсовой угол, град | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 | 135 | 150 | 180 |
| 5 | 0,166 | 0,171 | 0,181 | 0,203 | 0,242 | 0,203 | 0,181 | 0,171 | 0,166 |
| 7 | 0,134 | 0,161 | 0,190 | 0,229 | 0,278 | 0,229 | 0,190 | 0,161 | 0,134 |
| 9 | 0,095 | 0,122 | 0,151 | 0,187 | 0,228 | 0,187 | 0,151 | 0,122 | 0,095 |
| 11 | 0,068 | 0,089 | 0,112 | 0,139 | 0,171 | 0,139 | 0,112 | 0,089 | 0,068 |
| 15 | 0,038 | 0,050 | 0,064 | 0,080 | 0,098 | 0,080 | 0,064 | 0,050 | 0,038 |
| 18 | 0,027 | 0,035 | 0,045 | 0,056 | 0,069 | 0,056 | 0,045 | 0,035 | 0,027 |

Таблиця 3

Стандарты относительных вертикальных перемещений носового комингса грузового люка на левом борту при единичной высоте волны, м

| Средний период волнения, с | Курсовой угол, град | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 | 135 | 150 | 180 |
| 5 | 0,163 | 0,180 | 0,198 | 0,219 | 0,242 | 0,219 | 0,198 | 0,180 | 0,163 |
| 7 | 0,134 | 0,185 | 0,217 | 0,249 | 0,278 | 0,249 | 0,217 | 0,185 | 0,134 |
| 9 | 0,095 | 0,146 | 0,176 | 0,205 | 0,228 | 0,205 | 0,176 | 0,146 | 0,095 |
| 11 | 0,068 | 0,108 | 0,132 | 0,154 | 0,171 | 0,154 | 0,132 | 0,108 | 0,068 |
| 15 | 0,038 | 0,062 | 0,076 | 0,089 | 0,098 | 0,089 | 0,076 | 0,062 | 0,038 |
| 18 | 0,027 | 0,044 | 0,053 | 0,062 | 0,069 | 0,062 | 0,053 | 0,044 | 0,027 |

Допустимая, по условиям незаливания грузового трюма, наибольшая высота волны трехпроцентной обеспеченности составляет

$$h_{3\%} = \frac{F}{k_M \sigma_r} = \frac{4,60}{3,243 \cdot 0,278} = 5,10 \text{ м.}$$

Анализ показателей заливаемости грузового трюма судна при осадке 5,60 м свидетельствует об отсутствии ограничений при эксплуатации при волнении интенсивностью 5 баллов по шкале ГУГМС (высота волнения трехпроцентной обеспеченности 3,5 м).

Заключение. На основе расчетов качки с шестью степенями свободы была выполнена оценка заливаемости грузового трюма кранового судна проекта CV03 при эксплуатации в районе, соответствующем классу на двумерном нерегулярном волнении.

В оценках заливаемости полностью учтены рекомендации Циркуляра 608 Комитета по Безопасности на Море MSC/Circular.608/Rev.1 – Interim Guidelines for Open-top Containerships.

Оценка выполнялась в рамках линейной теории на основе величины стандарта относительных вертикальных перемещений верхней кромки комингса грузового трюма.

Наиболее неблагоприятными, с точки зрения заливаемости, являются условия, соответствующие положению судна лагом к волне при среднем периоде нерегулярного волнения 7 с.

Главный вывод – заливание грузового трюма по результатам расчетов отсутствует, поэтому эксплуатация судна проекта CV03 **вполне безопасна** при открытом грузовом трюме и максимальной осадке 5,60 м, назначенной в условном предположении о наличии (формальном) люковых крышек, при высоте волны 3 %-й обеспеченности до 5,10 м.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров А.Г. Модели эксплуатации составов смешанного река-море плавания // *Морской Вестник*. – 2015. – № 1 (53). – С. 101-107.
2. Guliev J.M., Davidov I.F. *Practical Estimation of Safe Ship Speed in Waves, Proceedings Jubilee 15th Session SMSSH*. – Vol. 2. – Varna. – 1986. – Report № 7.
3. Faltisen O.M. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. – Cambridge University Press, 1990.

Стаття надійшла до редакції 22.02.2018

Рецензенти:

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

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

УДК 629.553

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ НАПРЯМІВ ОНОВЛЕННЯ
КРУІЗНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ФЛОТУ
ЗМІШАНОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ПЛАВАННЯ**

Л.М. Кукалець

Анотація. В статті розглянуто можливі шляхи оновлення пасажирського круїзного флоту змішаного та внутрішнього плавання, запропоновано визначення, класифікація напрямів модернізації суден пасажирського круїзного флоту з врахуванням специфіки оновлення, приведено перелік основних та супутніх робіт згідно напрямів модернізації, а також періодичність та частота оновлення за останні десятиріччя на території України, Росії та Західної Європи.

Ключові слова: оновлення, пасажирський круїзний флот змішаного та внутрішнього плавання, напрям, модернізація, реновація, рекласифікація, реконструкція, переобладнання, дообладнання, конверсія, капітальний ремонт, побудова.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ НАПРАВЛЕНИЙ
ОБНОВЛЕНИЯ КРУИЗНОГО ПАССАЖИРСКОГО ФЛОТА
СМЕШАННОГО И ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ**

Л.Н. Кукалец

Аннотация. В статье рассмотрены возможные пути обновления пассажирского круизного флота смешанного и внутреннего плавания, предложены определения, классификация направлений модернизации судов пассажирского круизного флота с учетом специфики обновления, приведен перечень основных и сопутствующих работ согласно направлений модернизации, периодичность и частота обновлений за последних два десятилетия на территории Украины, России и Западной Европы.

Ключевые слова: обновление, пассажирский круизный флот смешанного и внутреннего плавания, направление, модернизация, реновация, рекласификация, реконструкция, переоборудование, дооборудование, конверсия, капитальный ремонт, строительство.

**IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION
OF RENEWAL WAYS OF CRUISE PASSENGER FLEET
OF COASTAL AND INLAND NAVIGATION**

L. Kukalets

Abstract. The article considers the possible ways of renewing the passenger cruise fleet of mixed and coastal navigation. It also analyses scientific sources related to possible measurements of ships recondition.

We investigate and classificate the main possible ways of passenger fleet renovation: modernisation, construction of new ships, major repairs.

The article provides detailed information on modernisation of ships as one of the renovation methods. We also distinguish possible directions of ships modernization: renovation, reconstruction, reclassification, re-equipment, backfit and conversion.

The article suggests the definitions and list of works related to the cruise passenger fleet of the mixed and coastal navigation.

It determines the basic and related works for each direction of modernization.

According to the ratio of basic and related works, the suggested directions of modernization are arranged in the order of growth of the numerical index of the modernization depth.

We analyze information on cycles and renewal frequency of mixed and coastal passenger vessels for the last 20 years in Ukraine, Russia and Western Europe. It is noted that the vessel during the life cycle can be subjected to different ways of renovation, which are combined and tend to repeat periodically during the process of modernization.

Keywords: *renewal, passenger cruise fleet of coastal and inland navigation, modernization ways, renovation, reclassification, reconstruction, re-equipment, additional equipment, conversion, major repairs, construction.*

Постановка проблеми: Річки Дунай, Рейн, Дніпро та північно-західний регіон Чорного моря мають високий потенціал для розвитку круїзного судноплавства та підвищення попиту серед туристів. Подальший розвиток вітчизняної круїзної індустрії наряду з побудовою нових суден можливий в тому числі, шляхом оновлення пасажирського флоту, яке потребує детального аналізу можливих варіантів оновлення і обґрунтування концепцій виконання кожного з них.

Мета статті полягає в ідентифікації та класифікації напрямів щодо адаптації та оновлення пасажирського флоту, що надасть змогу прогнозувати обсяг робіт за кожним з напрямів на науковій основі.

Поставлена мета обумовлює необхідність вирішення наступних питань:

- аналіз наукових джерел щодо можливих заходів оновлення суден внутрішнього та змішаного плавання і систематизація наявної інформації;

- визначення сутності, методики кожного з них з точки зору оновлення саме пасажирського флоту змішаного та внутрішнього плавання;

- ідентифікація та класифікація виявлених напрямів з метою їх подальшого детального аналізу;

- визначення переліку та обсягів робіт за кожним з напрямів.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблемами та напрямками оновлення флоту, здебільшого – вантажних суден, в останні десятиріччя займалося багато вітчизняних та зарубіжних науковців: Ростов Є.І., Перов В.М., Єгоров Г.В., Сьомін О.А., Лазарев О.М., Марченко С.С. та інші.

Ростов Є.І. в своєму дисертаційному дослідженні надав теоретичне обґрунтування реновації річкових суден, розробив методику відновлення їх корпусів, а також виділив технологічні процеси ремонту корпусу судна при його відновленні [1].

Лазаревим О.М. та Марченком С.С. були розглянуті питання оновлення складу флоту суден змішаного плавання [2,3]. Ними було проведено аналіз теоретичних аспектів модернізації таких суден, запропоновано визначення «модернізаційна придатність суден» для доцільності та можливості їх модернізації з метою підвищення конкурентоздатності суден змішаного плавання, була приведена класифікація факторів конкурентоздатності суховантажних суден змішаного плавання.

Питання оновлення саме круїзного пасажирського флоту змішаного та внутрішнього плавання розглядали такі фахівці, як Єгоров Г.В. [4; 5; 6; 7], Калугін Я.В. [7], Сьомін О.А. [8; 9], Беляєв І.В. [9]

Істотний внесок у розгляд питань оновлення річкового круїзного флоту зробив Єгоров Г.В. [4; 5; 6]. У своїх працях він навів базові принципи великих переобладнань суден змішаного плавання, надав приклади модернізації та будівництва річкових круїзних суден в Росії на початку ХХІ ст. Ним було обґрунтовано параметричний ряд сучасних круїзних суден для внутрішніх водних шляхів [5], запропоновано заходи щодо збереження флоту для річкових круїзів, а саме стратегію модернізації пасажирських суден та стратегію побудови нових суден з використанням елементів суден-донорів [7].

Сьомін О.А. розробив способи оцінки комфортабельності пасажирських суден внутрішнього та змішаного плавання, розглянув критерій комфортабельності для врахування його в процесі проектування будівництва та відновлення круїзних суден [8; 9; 10].

Питання побудови нових та подовження експлуатації існуючих суден періодично розглядаються науковцями та інженерами, але не зважаючи на це, чітка та зрозуміла ідентифікація та класифікація напрямів щодо адаптації та оновлення існуючого круїзного пасажирського флоту відсутня. Кожен з напрямів оновлення має свою наукову та прикладну методику прогнозування переліку та обсягу робіт, які за своїм складом та матеріальними затратами значно відрізняються та різнобічно впливають на комерційну ефективність судна в майбутньому. Проведення оновлення без наукового підходу може виявитись не оптимальним, і як наслідок фінансово збитковим. Саме це визначає область подальших досліджень.

Викладення основного матеріалу. Приклади модернізації і переобладнання суден відомі ще з початку ХХ сторіччя. Історично, технічна реалізація переобладнання суден йшла попереду його теоретичного обґрунтування. В основному, потреба в нових типах або недостатність визначених типів суден завжди була передумовою для переобладнання суден, в тому числі з використанням частин інших суден. В різні періоди ХХ сторіччя виникала необхідність модернізації та переобладнання суден, але, у зв'язку з можливістю поповнення флоту новими суднами, займала незначне місце. На початку 90-х років необхідність адаптації суден до різних водних шляхів, навігаційних, юридичних, екологічних вимог спричинила істотне збільшення проценту оновлення флоту за рахунок реновації, модернізації, переобладнання тощо. У зв'язку з цим розширилася номенклатура та обсяг робіт з оновлення флоту. За останні десятиріччя визначення реновації та інших термінів щодо оновлення набуває нового змісту. Таким чином, постає питання перегляду трактування самого поняття оновлення та модернізації флоту, більш детальної диференціації робіт з оновлення флоту внутрішнього та змішаного плавання та визначення їх методики і обсягів.

Огляд наукової літератури, посібників, публікацій та інших джерел дає змогу привести наступні існуючі визначення щодо реновації, модернізації, переобладнання та реконструкції суден. З економічної точки зору реновація означає оновлення елементів основних виробничих фондів, засобів виробництва внаслідок їх фізичного (матеріального) спрацювання та техніко-економічного старіння на нові [10].

Ростов Є.І. розглядав реновацію корпусів суден як їх оновлення з метою виконання визначеного обсягу ремонту або модернізації до необхідного рівня. Лазарев О.М. та Марченко С.С. виділили основні складові модернізації суден – реновація, переобладнання, модернізація суднової енергетичної установки. За їх словами, реновація – це частина модернізації. Одним з видів переобладнання може бути рекласифікація – підвищення класу судна, що дозволить розширити або змінити райони плавання судна. Перов В.М. в посібнику «Реновація суден» [11] називає реновацію суден завершальною стадією їх життєвого циклу, яка дає початок повторному використанню суден або окремих їх елементів і сировини, результатом якого є оновлення основних фондів флоту. Згідно до його визначення, реновація має три основні напрямки: повторне використання машини у вихідному вигляді за прямим чи іншим призначенням, утилізація машини, поховання або знищення відходів. Перший з них – повторне використання застосовується після відновлювального ремонту або модернізації судна. Таким чином, модернізація, за його словами, є окремим випадком реновації (на відміну від Лазарева і Марченко).

Звертаючись до інших джерел [12], модернізація суден – це приведення їх у відповідність до нових умов експлуатації, правил і норм без зміни основного призначення, а переобладнання суден виконується з метою зміни їх призначення (наприклад, при потребі у визначених типах

суден і можливості їх отримати при переобладнанні). Одним з видів модернізації є розмірна модернізація – особливий вид модернізації судна, внаслідок якого може бути отримано принципово нове судно, що буде відрізнятися від первинного за розмірами, формою корпусу, морехідними якостями та техніко-експлуатаційними характеристиками. Єгоров Г.В. називає модернізацію суттєвим переобладнанням судна, а конверсія судна є значною розмірною модернізацією і побудовою нових суден з використанням елементів суден-донорів [7]. Реконструкція судна – це сукупність операцій по зміні конструкції судна або його елементів з метою поліпшення техніко-експлуатаційних характеристик, умов праці та побуту або з метою зміни його функціонального призначення [13]. Тотожне визначення має переобладнання судна.

Все вищезазначене, головним чином відноситься до вантажного транспортного флоту. Наряду з цим в науковій літературі майже відсутня інформація щодо оновлення пасажирського круїзного флоту. Існуючі методики, системи щодо оновлення транспортних вантажних суден не можуть застосовуватись до пасажирських суден, оскільки пасажирський флот має специфіку, зумовлену призначенням, конструктивними особливостями та життєвим циклом суден. Аналіз публікацій з даної тематики та виконаних робіт з оновлення пасажирського флоту надає змогу виділити декілька напрямлень оновлення матеріально-технічної бази круїзного пасажирського флоту внутрішнього і змішаного плавання (рис. 1), а саме:

- побудова нових суден внутрішнього та змішаного плавання;
- адаптація існуючих суден внутрішнього та змішаного плавання

до сучасних вимог судноплавства, за наступними напрямками:

- реновація;
- реконструкція;
- рекласифікація;
- переобладнання;
- дообладнання;
- модернізація;
- конверсія;
- капітальний ремонт суден.

Існуюча інформація щодо проведених робіт з оновлення та огляд наукових джерел доводить, що для пасажирських круїзних суден значним фактором при оновленні буде комфортабельність судна. Перелік та обсяг робіт з оновлення пасажирських суден буде суттєво відрізнятися від обсягу оновлення вантажних суден. Враховуючи цю відмінність, можна сформулювати притаманний саме пасажирському флоту комплекс визначень напрямків оновлення, а також види робіт за кожним з них.

Модернізація – приведення судна у відповідність до нових (сучасних) умов експлуатації, правил і норм класифікаційних товариств. Може відбуватися як зі зміною, так і без зміни первісного проектного стану, архітектурного типу, класу, основного призначення судна або зі зміною тільки окремих його параметрів.

Реновація – оновлення внутрішнього інтер'єру і систем з заміною на більш сучасні та нові без зміни загального розташування внутрішніх приміщень, їх призначення, архітектурного типу та основного призначення судна.

Переобладнання – оновлення внутрішнього інтер'єру і систем із зміною загального розташування внутрішніх приміщень судна та (або) їх призначення, додавання систем та приладів з можливою зміною призначення судна.

Реконструкція – внесення змін у зовнішні та внутрішні конструкції корпусу та надбудови без зміни призначення та типу судна.

Рекласифікація – виконання певних робіт для приведення судна до іншого класу (як вищого, так і нижчого) згідно району плавання.

Дообладнання – внесення змін в конструкцію та системи судна з метою розширення району плавання, зміни регіону плавання і/або підвищення комфортабельності судна.

Конверсія – значні зміни внутрішніх та зовнішніх конструкцій судна зі зміною розмірів, типу, класу, призначення та району плавання судна.

Капітальний ремонт – відновлення зношених конструкцій відповідно до існуючого (діючого) проекту судна.

Всі ці напрями можна класифікувати як наведено на рис.1.



Рис. 1. Напрями оновлення пасажирського флоту

Побудова нових суден та суден з використанням суден-донорів також є одним з шляхів оновлення пасажирського флоту, яка має встановлені правила побудови та нормативну документацію щодо проведення робіт, але це найбільш довготривалий та капіталомісткий шлях оновлення, з довгим терміном повернення вкладених коштів. Ремонт судна проводиться для відновлення придатного технічного стану його елементів і з модернізацією не пов'язаний. Капітальний ремонт судна є різновидом ремонту і виконується з метою відновлення техніко-експлуатаційних характеристик судна практично до проектного стану, внаслідок чого містить великий обсяг та значну номенклатуру робіт, прогнозується шляхом існуючих методів нормування робіт та потребує окремого підходу до вивчення. В даній роботі ці шляхи (побудова та ремонт) не розглядаються.

Таким чином, модернізація пасажирського флоту включає декілька напрямів, кожен з яких має свій перелік робіт, які умовно можна поділити на основні, тобто обов'язкові при даному напрямі та супутні (можуть виконуватись при даному напрямі) види робіт (табл. 1).

З метою ранжування напрямів модернізації був розрахований чисельний показник глибини модернізації, який є відношенням кількості основних робіт до кількості супутніх за кожним з напрямів. Чим вище цей показник, тим більша кількість основних робіт притаманна напрямку модернізації. Як видно з таблиці, найбільший перелік робіт припадає на такі напрями модернізації, як конверсія та переобладнання, причому майже всі з них є основними. Найменшу кількість основних робіт з оновлення мають наступні напрями в порядку зменшення: реновація, реконструкція, дообладнання та рекласифікація.

На сьогодні, існуючі судна пасажирського круїзного флоту змішаного та внутрішнього плавання мають достатній ресурс для подальшого використання при умові їх оновлення. Було проведено збір та аналіз інформації щодо оновлення суден круїзного пасажирського флоту України, Росії та Західної Європи за останні 20 років (табл. 2). При аналізі було розглянуто 154 судна пасажирського круїзного флоту і виявлено, що кожне з них було оновлено в тій чи іншій мірі за час існування. Обсяги робіт по кожному судну відрізнялися в залежності від віку, технічного стану судна, можливостей судноплавної компанії, подальшого району плавання та призначення судна.

Співвідношення визначених в таблиці 1 видів робіт з проведеними на судах обсягами оновлення показав, що вітчизняні судна та судна Західної Європи найчастіше піддавались такому напрямку модернізації, як реновація – 47,4 % від загальної кількості проаналізованих суден. Значна частина суден піддавалася переобладнанню – 38,3 %. Наступними в переліку є реконструкція і дообладнання – 7,8 % та 3,9 % відповідно.

Таблиця 2

*Кількість круїзних пасажирських суден
відповідно до напрямів модернізації та їх періодичності*

| Напрями модернізації | Періодичність згідно до життєвого циклу судна (рази) | Країни | | | | Всього | Частина напрямку в загальній кількості оновлених суден, % |
|---|--|---------------------|---------|----------|----------------|--------|---|
| | | Російська Федерація | Україна | Білорусь | Західна Європа | | |
| Реновація | 3-4 | 56 | 2 | - | 15 | 73 | 47,4 |
| Переобладнання | 0-1 | 43 | 4 | - | 12 | 59 | 38,3 |
| Реконструкція | 0-2 | 10 | - | - | 2 | 12 | 7,8 |
| Дообладнання | 0-2 | 3 | 1 | - | 2 | 6 | 3,9 |
| Конверсія | 0-1 | 3 | - | 1 | - | 4 | 2,6 |
| Рекласифікація | 0-1 | 5* | 2* | - | - | 7* | - |
| Всього суден | | 115 | 7 | 1 | 31 | 154 | 100 |
| * – кількість за даним напрямом не врахована до загальної кількості суден | | | | | | | |

Найменший процент серед напрямів модернізації на розглянутих судах займають конверсія (2,6 %) та рекласифікація. Причому рекласифікація завжди відбувалась у поєднанні з іншими напрямками, а саме з конверсією, переобладнанням або дообладнанням суден.

Також було виявлено, що судно протягом життєвого циклу може піддаватися різним напрямкам оновлення. Під час здійснення модернізації напрями суміщаються і мають тенденцію до періодичного повторення. Так, реновація може повторюватись 3-4 рази, реконструкція та дообладнання не більше двох раз, переобладнання, конверсія і рекласифікація не більше одного разу протягом життєвого циклу судна. Періодичність повторення того чи іншого напрямку, в першу чергу пов'язано з номенклатурою та обсягом робіт і, як наслідок, вартістю та періодом виконання. Чим менше обсяг, вартість та період здійснення окремого напрямку модернізації, тим частіше використовується цей напрям.

Висновки

1. Область проектування в частині оновлення існуючого пасажирського флоту є маловисвітленою, сучасні наукові та прикладні методи щодо оновлення пасажирських круїзних суден - відсутні. Різноманітна інформація про оновлення, що є в наявності не систематизована в тій мірі, яка дозволила б прогнозувати перелік, обсяг робіт з оновлення пасажирського флоту та економічну доцільність.

2. Більша частина існуючих вітчизняних та західних круїзних суден були модернізовані за останні 20 років, що підтверджує необхідність та затребуваність саме цього шляху оновлення пасажирського флоту.

3. Існуючі методи щодо оновлення вантажних суден неможна використовувати для пасажирських круїзних суден оскільки пасажирський флот має інше призначення, конструктивні та комерційні особливості, життєвий цикл.

4. Основними шляхами оновлення пасажирського круїзного флоту є побудова нових суден, капітальний ремонт та модернізація існуючих суден внутрішнього та змішаного плавання до рівня сучасних вимог судноплавства. Модернізація суден охоплює декілька основних напрямів: реновація, реконструкція, рекласифікація, переобладнання, дообладнання та конверсія.

5. Кожен з запропонованих напрямів модернізації має свій притаманний йому перелік робіт – як основних, так і супутніх. Відсутність методів оцінювання доцільності проведення робіт по кожному з напрямів модернізації потребує більш детального аналізу переліку, обсягів робіт та їх комерційної складової з урахуванням сучасних та перспективних вимог круїзного ринку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ростов Е.И. *Технология и организация реновации корпусов судов речного флота: Автореф. дис. на соиск. учен. степ канд. техн. наук: 05.08.04 / Е.И. Ростов; научн. рук. В.Б. Чистов. – СПб.: СПГУВК, 2003. – 26 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://vivaldi.nlr.ru/bd000054234/details> (дата звернення 09.02.2018)*
2. Лазарев А.Н. *Теоретические аспекты модернизации судов смешанного «Река-море» плавания / А.Н. Лазарев, С.С. Марченко // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адм. С.О. Макарова. – СПб., 2016. – № 1(35). С.76-84.*

3. Марченко С.С. Возможности повышения конкурентноспособности сухогрузных судов смешанного плавания за счет модернизации флота // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адм. С.О. Макарова. – СПб., 2013. – № 3(22). – С.136-143.
4. Егоров Г. В. Что такое «конверсия» судов? // Морская биржа: информационно-аналитический журнал. – СПб.: ООО «Принт-Экспо», 2011. – № 2(36). – С.18-27.
5. Егоров Г.В. «Линейка» круизных пассажирских судов для внутренних водных путей / Г.В. Егоров, И.А. Ильницкий, Я.В. Калугин // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2013. – Вип. 2 (38). – С. 20-40.
6. Егоров Г.В. Анализ опыта европейских речных круизов и его влияние на новое поколение отечественных пассажирских судов // Морской вестник: научно-технический и информационно-аналитический журнал. – СПб., 2012. – № 3 (43). – С. 23-28.
7. Егоров Г.В. Опыт модернизации и строительства речных круизных судов с использованием элементов судов-доноров / Г.В. Егоров, Я.В. Калугин // Зб. наук. праць Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова. – Миколаїв, 2013. – № 2. – С.4-11.
8. Сёмин А.А. Влияние комфортабельности на выбор главных размерений пассажирских круизных судов внутреннего и смешанного плавания / А.А. Сёмин // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2005. – Вип. 17. – С. 39-45.
9. Сёмин А.А. Повышение комфортабельности круизных судов как фактор роста их конкурентоспособности / А.А. Сёмин, И.В. Беляев // Транспортное дело России: Электрон. журн. – 2009. – № 2. URL: <https://elibrary.ru/contents.asp?issueid=591607> (дата звернення: 09.01.18).
10. Великий тлумачний словник сучасної української мови (з дод. і доповн.) / Уклад. і гол. ред. В.Т. Бусел. – 5-е вид. – К.; Ірпінь: ВТФ «Перун», 2005. – 1728 с.
11. Перов В.М. Реновація суден: Навч. посібник / В.М. Перов. – Миколаїв: НУК, 2006. – 148 с.
12. Гундобин А.А. Размерная модернизация и переоборудование судов / А.А. Гундобин, Г.Н. Финкель. – Л.: Судостроение, 1977. – 192 с.

13. *Распоряжение Минтранса РФ от 15.05.2003 ПНС-59-Р «Об утверждении требований к конструкции судов внутреннего водного транспорта и судовому оборудованию» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/361058> (дата звернення 10.01.18).*
14. *Круизное информационное агентство CRUISINFORM.RU [Электронный ресурс]. Дата оновлення: 10.01.2018. – URL: <http://cruiseinform.ru> (дата звернення 10.01.2018)*

Стаття надійшла до редакції 25.01.2018

Рецензенти:

доктор технічних наук, доцент, директор Київського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій (КІВТ ДУІТ) **О.М. Тимошук**

кандидат технічних наук, доцент, декан факультету Експлуатації технічних систем на водному транспорті Київського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій (КІВТ ДУІТ) **О.А. Сьомін**

УДК 539.3

СТІЙКІСТЬ КРАНОВИХ СТРІЛ-АРОК

В.Ф. Оробей, О.О. Немчук, О.М. Лимаренко, О.А. Романов

Анотація. Представлено спрощену систему диференціальних рівнянь стійкості кранових стріл, виконаних у вигляді кругових арок. Систему двох диференціальних рівнянь зведено до одного дозволяючого рівняння відносно кута закручування арки. Виконано інтегрування дозволяючого рівняння і складено матричне рівняння стійкості арки у формі, зручній для застосування чисельно-аналітичного методу граничних елементів. Побудовано два варіанти систем фундаментальних ортонормованих функцій для диференціальних рівнянь стійкості з постійними коефіцієнтами. Для розв'язання задач стійкості аркових конструкцій рекомендовано застосовувати алгоритм методу граничних елементів (МГЕ).

Ключові слова: стійкість, система диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами, фундаментальні функції, МГЕ.

СТОЙКОСТЬ КРАНОВЫХ СТРЕЛ-АРОК

В.Ф. Оробей, А.О. Немчук, А.М. Лимаренко, А.А. Романов

Аннотация. Представлена упрощенная система дифференциальных уравнений устойчивости крановых стрел, выполненных в виде круговых арок. Система двух дифференциальных уравнений сведена к одному разрешающему уравнению относительно угла закручивания арки. Выполнено интегрирование разрешающего уравнения и составлено матричное уравнение устойчивости арки в форме, удобной для применения численно-аналитического метода граничных элементов.

Построено два варианта систем фундаментальных ортонормированных функций для дифференциальных уравнений устойчивости с постоянными коэффициентами. Для решения задач устойчивости арочных конструкций рекомендовано применять алгоритм метода граничных элементов (МГЭ).

Ключевые слова: устойчивость, система дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, фундаментальные функции, МГЭ.

STABILITY OF CRANE AREL-AROK

V.F. Orobey, O.O. Nemchuk, O.M. Limarenko, O.A. Romanov

Abstract. A simplified system of differential equations for the stability of crane arrows executed in the form of circular arches is presented.

© Оробей В.Ф., Немчук О.О., Лимаренко О.М., Романов О.А., 2018

The system of two differential equations is reduced to one resolving equation with respect to the twisting angle of the arch. Integration of the resolving equation is completed and a matrix equation of stability of the arch is compiled in a form convenient for the application of the numerical-analytic method of boundary elements. Two versions of systems of fundamental orthonormal functions for differential equations of stability with constant coefficients are constructed. To solve the problems of stability of arch structures, it is recommended to apply the algorithm of the method of boundary elements (MGE).

Keywords: *stability, system of differential equations with variable coefficients, fundamental functions, MGE.*

Вступ. Стріли спеціальних вантажопідйомних машин мають форму кругових арок. Застосування кругових арок обумовлено перевагами в порівнянні з прямолінійними стержнями по міцності і жорсткості. У зв'язку з цим ародні елементи кранових конструкцій вельми часто мають значне співвідношення осьових моментів інерції поперечних перерізів. При цьому конструкція задовольняє вимогам міцності і жорсткості, але одночасно виникає небезпека втрати стійкості плоскої форми вигину. Після втрати стійкості стержень зазнає два вигини і крутіння. Великі переміщення перетинів часто призводять до різних аварій.

Запобігти втраті стійкості можна розрахунковим шляхом. Однак для цього необхідні відповідні, досить точні і надійні математичні моделі процесів втрати стійкості. В даний час теоретичні розробки стійкості плоскої форми вигину кругових арок знаходяться в зародковому стані і не дозволяють вирішувати в потрібному обсязі важливі практичні завдання. У зв'язку з цим проблема створення розрахункових моделей задач стійкості кругових арок є актуальною і необхідною для практики [1]-[7].

Аналіз літературних даних. Проблема стійкості плоскої форми вигину прямолінійних балок з перетинами у вигляді вузької смуги була поставлена ще в ХІХ столітті. Значно пізніше була узагальнена теорія просторової стійкості плоских і просторових стрижнів і стрижневих систем [1].

Досить довго скористатися побудованою теорією не вдалося, оскільки відповідні диференціальні рівняння мали змінні коефіцієнти та інтегрування наражалося на серйозні математичні труднощі [2]. Відомі вирішення різних завдань розрахунку кривих стрижнів у вигляді кругових арок з урахуванням тільки деформації вигину [3].

Дана проблема знайшла своє ефективне рішення лише з появою чисельно-аналітичного варіанта метода граничних елементів (МГЕ). Даний метод дозволяє математично строго і точно вирішувати крайові задачі для лінійних однорідних і неоднорідних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами [4]-[5].

Якщо для прямолінійних стрижнів накопичені різні рішення диференціальних рівнянь стійкості, то для кругових арок відсутні фундаментальні функції-рішення задач Коші стійкості плоскої форми вигину. Рішення задач стійкості плоскої форми вигину кругових арок може бути виконано за допомогою професійних пакетів метода скінченних елементів (МСЕ) Ansys, Solid Works, Abaqus і ін. В даний момент часу МСЕ є найбільш поширеним чисельним методом та має порівняно просту логіку алгоритму і велике число арифметичних операцій [6]. Однак відсутність точної матриці жорсткості завдань стійкості плоскої форми вигину конструктивних елементів у вигляді кругових арок не дозволяє отримувати точні і достовірні результати при як завгодно великій дискретизації конструкції. В кращу сторону відрізняється застосування алгоритму МГЕ [7]. Тут використовується точна система диференціальних рівнянь завдання, математично сувора процедура побудови її рішення і вельми простий за логікою процес формування системи лінійних алгебраїчних рівнянь крайової задачі стійкості [8]. Крім того, як показано в роботі [9], МГЕ дозволяє отримувати точні значення параметрів завдання (зусиль, переміщень, напружень, частот власних коливань [10]-[11], критичних сил втрати стійкості) як на границі, так і всередині області. При цьому МГЕ має найбільш просту логіку алгоритму серед інших числових методів, хорошу збіжність рішення, високу стійкість арифметичних операцій і незначне накопичення похибок округлення при численних операціях [12]. Застосування МГЕ і побудова системи фундаментальних ортонормованих функцій завдань стійкості плоскої форми вигину кругових арок є актуальною проблемою інженерних наук.

У цьому зв'язку, аналіз літератури логічно призводить до такого формулювання мети і завдань досліджень.

Постановка завдання. Метою даної роботи є побудова системи фундаментальних ортонормованих функцій для задач стійкості плоскої форми вигину кругових арок з перерізами з двома і більше осями симетрії.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. Сформувати рівняння МГЕ в матричній формі для розв'язання крайових задач стійкості;
2. Спростити загальні диференціальні рівняння стійкості кругових арок з урахуванням симетрії їх перерізів;
3. Отримати дозволяюче звичайне диференціальне рівняння розглянутих завдань;
4. Побудувати системи фундаментальних ортонормованих функцій диференціального рівняння для двох найважливіших випадків коренів характеристичного рівняння;
5. Надати практичні рекомендації щодо застосування отриманих розрахункових співвідношень крайових задач стійкості арок.

Рішення даних завдань відсутнє в літературі.

Викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. Система рівнянь стійкості плоскої форми вигину кругового стержня, після врахування симетрії перерізу, приводиться до виду, представленому на рис. 1.

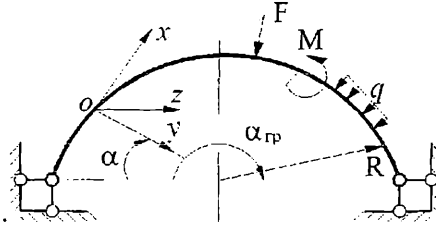


Рис. 1. Розрахункова схема завдання стійкості кругового стержня

$$\begin{cases} EI_y w''''(\alpha) + \frac{EI_\omega}{R} \theta''''(\alpha) + \left[M_z(\alpha) - \frac{GI_d}{R} \right] \theta''(\alpha) = 0; \\ EI_\omega \theta''''(\alpha) - GI_d \theta''(\alpha) + \left[M_z(\alpha) - \frac{EI_y}{R} \right] w''(\alpha) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де EI_y – жорсткість перерізу при згині в горизонтальній площині xOz ;
 $w(\alpha)$ – згинальне переміщення осі стержня при затисненому крученні Oz ;

EI_ω – секторіальна жорсткість перерізу при затисненому крученні;
 R – радіус осі кругового стержня;

$\theta(\alpha)$ – кут закручування перерізу навколо осі Ox ;

$M_z(\alpha)$ – згинальний момент в перерізі, що викликаний заданим поперечним навантаженням;

GI_d – жорсткість перерізу при крученні;

α – кутова координата поточного перерізу.

Видно, що система (1) має змінні коефіцієнти у вигляді згинального моменту $M_z(\alpha)$. З огляду на те, що це в загальному випадку деякий набір простих функцій, то стають очевидними складності, з якими доведеться зіткнутися при інтегруванні цієї системи.

Завдання можна істотно спростити, якщо скористатися чисельно-аналітичним варіантом МГЕ [2]-[5]. У цьому методі потрібно мати рішення задачі Коші для рівнянь (1), але з постійними коефіцієнтами. Викладемо процедуру інтегрування спрощеної системи рівнянь.

Початкові параметри стиснутого кручення і вигину в горизонтальній площині мають вигляд:

$GI_d \theta(0)$ – кут закручування, кНм^2 ;

$GI_d \theta'(0)$ – похідна кута закручування, кНм ;

$B_\omega(0) = -\frac{GI_d}{k^2} \theta''(0)$ – бімомент, кНм^2 ;

$k = \sqrt{\frac{GI_d}{EI_\omega}}$ – згинально-крутильна характеристика перерізу, $\frac{1}{\text{м}}$;

$M_\omega(0) = -\frac{GI_d}{k^2} \theta'''(0)$ – згинально-крутильний момент, кНм;

$EI_y w(0)$ – переміщення перерізу в напрямку осі Oz , кНм³;

$EI_y w'(0) = EI_y \phi(0)$ – кут повороту перерізу, кНм²;

$EI_y w''(0) = -M_y(0)$ – згинальний момент в горизонтальній площині, кНм;

$EI_y w'''(0) = -Q_z(0)$ – поперечна сила в горизонтальній площині, кН.

Дані початкові параметри і систему рівняння (1) утворюють завдання Коші стійкості площини форми вигину кругового стержня. Для формування фундаментальних розв'язків задачі Коші виконаємо ряд перетворень.

З другого рівняння системи (1) випливає, що ($M_z = const$)

$$w''(\alpha) = \frac{1}{\left(M_z - \frac{EI_y}{R}\right)} \left[-EI_\omega \theta''(\alpha) + GI_d \theta''(\alpha) \right]. \quad (2)$$

Два рази, інтегруючи цей вираз, отримаємо зв'язок між згинальним переміщенням $w(\alpha)$ і кутом закручування $\theta(\alpha)$

$$w(\alpha) = \frac{1}{\left(M_z - \frac{EI_y}{R}\right)} \left[-EI_\omega \theta'(\alpha) + GI_d \theta(\alpha) \right] + (A \cdot \alpha + B) \frac{1}{\left(M_z - \frac{EI_y}{R}\right)}, \quad (3)$$

де константи інтегрування будуть дорівнювати

$$B = \left(M_z - \frac{EI_y}{R} \right) w_{(0)} + EI_\omega \theta'(0) - GI_d \theta(0); \quad (4)$$

$$A = \left(M_z - \frac{EI_y}{R} \right) w'_{(0)} + EI_\omega \theta''(0) - GI_d \theta'(0).$$

Якщо $w''(\alpha)$ із (2) підставити в перше рівняння системи (1), то отримаємо дозволяюче диференціальне рівняння стійкості плоскої форми згинання кругового стержня

$$-z_1 \theta_{(\alpha)}^{VI} + z_2 \theta_{(\alpha)}^{IV} + z_3 \theta_{(\alpha)}'' = 0, \quad (5)$$

де

$$z_1 = \frac{EI_y \cdot EI_\omega}{\left(M_z - \frac{EI_y}{R}\right)}; \quad z_2 = \frac{EI_y \cdot GI_d}{\left(M_z - \frac{EI_y}{R}\right)} + \frac{EI_\omega}{R}; \quad z_3 = M_z - \frac{GI_d}{R}. \quad (6)$$

Рівняння (5) класифікується як лінійне однорідне диференціальне рівняння з постійними коефіцієнтами шостого порядку. Його рішення можна отримати за стандартною схемою. Характеристичне рівняння для (5) має вигляд

$$(-z_1) t^6 + z_2 t^4 + z_3 t^2 = 0. \quad (7)$$

Корні його мають різний вигляд. Розглянемо два найбільш важливих поєднання коренів.

Перший випадок

$t_{1,2} = 0$ – дійсні кратні;

$$t_{3,4} = \pm \sqrt{\frac{-z_2 + \sqrt{z_2^2 + 4z_1z_3}}{-2z_1}} \text{ – два дійсних кореня;} \quad (8)$$

$$t_{5,6} = \pm i \sqrt{\frac{z_2 + \sqrt{z_2^2 + 4z_1z_3}}{2z_1}} \text{ – два уявних кореня.}$$

Загальне рішення рівняння (5) запишеться у вигляді

$$\theta(\alpha) = C_1 + C_2 \cdot \alpha + C_3 \operatorname{ch} \alpha x + C_4 \operatorname{sh} \alpha x + C_5 \cdot \cos b \alpha x + C_6 \sin b \alpha x, \quad (9)$$

де

$$a = \sqrt{\frac{-z_2 + \sqrt{z_2^2 + 4z_1z_3}}{-2z_1}}; \quad b = \sqrt{\frac{z_2 + \sqrt{z_2^2 + 4z_1z_3}}{2z_1}}. \quad (10)$$

Диференціюючи п'ять разів вираз (9), з огляду на співвідношення між початковими параметрами і вираз (3), можна скласти систему лінійних алгебраїчних рівнянь для констант інтегрування $C_1 - C_2$

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
|---|---|---|----------|----------|----------|----------|-------|---|----------------------------------|
| 1 | 1 | | 1 | | 1 | | C_1 | = | $\theta_{(0)}$ |
| 2 | | 1 | | a | | b | C_2 | | $\theta'_{(0)}$ |
| 3 | | | a^2 | | $-b^2$ | | C_3 | | $-\frac{B_{\omega(0)k^2}}{GI_d}$ |
| 4 | | | | a^3 | | $-b^3$ | C_4 | | $-\frac{M_{\omega(0)k^2}}{GI_d}$ |
| | | | A_{53} | | A_{55} | | C_5 | | $\frac{M_{y(0)}}{EI_y}$ |
| 6 | | | | A_{64} | | A_{66} | C_6 | | $\frac{Q_{z(0)}}{EI_y}$ |

(11)

де елементи матриці коефіцієнтів рівняння (11) мають вигляд

$$A_{53} = \frac{a^2(-EI_{\omega}a^2 + GI_d)}{M_z - \frac{EI_y}{R}}; \quad A_{55} = \frac{-b^2(EI_{\omega}b^2 + GI_d)}{M_z - \frac{EI_y}{R}};$$

$$A_{64} = \frac{a^3(-EI_{\omega}a^2 + GI_d)}{M_z - \frac{EI_y}{R}}; \quad A_{66} = \frac{-b^3(EI_{\omega}b^2 + GI_d)}{M_z - \frac{EI_y}{R}}. \quad (12)$$

Константи інтегрування після рішення системи рівнянь (11) запишуться у вигляді

$$C_1 = \theta_{(0)} - \frac{a^2 + b^2}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \left[-\frac{M_{y(0)}}{EI_y} \right] + \frac{x_1 + x_2}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \left[-\frac{B_{\omega(0)k^2}}{GI_d} \right];$$

$$C_2 = \theta'_{(0)} - \frac{a^2 + b^2}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \left[-\frac{Q_{z(0)}}{EI_y} \right] + \frac{x_1 + x_2}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \left[-\frac{M_{\omega(0)k^2}}{GI_d} \right];$$

$$C_3 = \frac{b^2}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \left[-\frac{M_{y(0)}}{EI_y} \right] - \frac{x_2}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \left[-\frac{B_{\omega(0)k^2}}{GI_d} \right]; \quad (13)$$

$$C_4 = \frac{b^2}{a(x_1 b^2 - x_2 a^2)} \left[-\frac{Q_{z(0)}}{EI_y} \right] - \frac{x_2}{a(x_1 b^2 - x_2 a^2)} \left[-\frac{M_{\omega(0)k^2}}{GI_d} \right];$$

$$C_5 = \frac{a^2}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \left[-\frac{M_{y(0)}}{EI_y} \right] - \frac{x_1}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \left[-\frac{B_{\omega(0)k^2}}{GI_d} \right];$$

де обозначено

$$x_1 = \frac{a^2(-EI_{\omega}a^2 + GI_d)}{M_z - \frac{EI_y}{R}}; \quad x_2 = \frac{b^2(EI_{\omega}b^2 + GI_d)}{M_z - \frac{EI_y}{R}}. \quad (14)$$

Константи $C1-C6$ підставляються у вираз для кута закручування $\theta(\alpha)$ (9), і далі можна сформулювати чотири параметри вигину (за допомогою виразу (3)) і чотири параметри стиснутого кручення щодо відповідних початкових параметрів.

Ці вирази після нормування фундаментальних функцій зручно представити в матричній формі наступним чином:

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---|----------|-----------|-----------|---|----------|-----------|-----------|----------------------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| $EI_y w_{(\alpha)}$ | 1 | α | $-A_{13}$ | $-A_{14}$ | | | $-A_{17}$ | $-A_{18}$ | $EI_y w_{(0)}$ | |
| $EI_y \phi_{(\alpha)}$ | 2 | 1 | $-A_{23}$ | $-A_{24}$ | | | $-A_{27}$ | $-A_{28}$ | $EI_y \phi_{(0)}$ | |
| $M_{y(\alpha)}$ | 3 | | A_{33} | A_{34} | | | A_{37} | A_{38} | $M_{y(0)}$ | |
| $Q_{z(\alpha)}$ | = | | A_{43} | A_{44} | | | A_{47} | A_{48} | $Q_{z(0)}$ | |
| | 4 | | | | | | | | | |
| $GI_d \theta_{(\alpha)}$ | 5 | | $-A_{53}$ | $-A_{54}$ | 1 | α | $-A_{57}$ | $-A_{58}$ | $GI_d \theta_{(0)}$ | (15) |
| $GI_d \theta'_{(\alpha)}$ | 6 | | $-A_{63}$ | $-A_{64}$ | | 1 | $-A_{67}$ | $-A_{68}$ | $GI_d \theta'_{(0)}$ | |
| $B_{\omega(\alpha)}$ | 7 | | A_{73} | A_{74} | | | A_{77} | A_{78} | $B_{\omega(0)}$ | |
| $M_{\omega(\alpha)}$ | 8 | | A_{83} | A_{84} | | | A_{87} | A_{88} | $M_{\omega(0)}$ | |

З цього виразу випливає, що при вирішенні завдань стійкості кругових арок МГЕ необхідно вирішити всього лише вісім рівнянь, з похибкою менше 1 % [11]. За МСЕ, як показує досвід [12], потрібно скласти тисячу рівнянь, з похибкою 5 % і більше.

Фундаментальні ортонормовані функції рівняння (15) приймають вид

$$A_{13} = \frac{-(a^2 + b^2)c + b^2 \frac{x_1}{a^2} c h a \alpha + a^2 \frac{x_2}{a^2} \cos b \alpha}{x_1 b^2 - x_2 a^2};$$

$$C = \frac{GI_d}{M_z - \frac{EI_y}{R}}; A_{14} = \frac{-ab(a^2 + b^2)c \alpha + b^3 \frac{x_1}{a^2} s h a \alpha + a^3 \frac{x_2}{a^2} \sin b \alpha}{ab(x_1 b^2 - x_2 a^2)}; \quad (16)$$

$$A_{17} = \frac{k^2(x_1 + x_2)c - k^2 x_2 \frac{x_1}{a^2} c h a \alpha + k^2 x_1 \frac{x_2}{b^2} \cos b \alpha + (x_1 b^2 - x_2 a^2)c}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \cdot \frac{EI_y}{GI_d};$$

$$A_{18} = \frac{k^2 ab(x_1 + x_2)c \alpha - k^2 x_2 b \frac{x_1}{a^2} s h a \alpha - k^2 a x_1 \frac{x_2}{b^2} \sin b \alpha + ab(x_1 b^2 - x_2 a^2)c \alpha}{ab(x_1 b^2 - x_2 a^2)} \cdot \frac{EI_y}{GI_d};$$

$$A_{23} = \frac{x_1 b^3 \frac{x_1}{a^2} s h a \alpha - x_2 a^3 \sin b \alpha}{ab(x_1 b^2 - x_2 a^2)}; A_{24} = A_{13};$$

$$\begin{aligned}
 A_{34} = A_{23}; \quad A_{27} &= \frac{-k^2 x_1 x_2 b \operatorname{sh} \alpha \alpha + k^2 x_1 x_2 a \sin \beta \alpha}{ab(x_1 b^2 - x_2 a^2)} \cdot \frac{EI_y}{GI_d}; \quad A_{44} = A_{33}; \\
 A_{33} &= \frac{x_1 b^2 \operatorname{ch} \alpha \alpha - x_2 a^2 \cos \beta \alpha}{x_1 b^2 - x_2 a^2}; \\
 A_{37} &= \frac{[x_1 x_2 b^2 (\operatorname{ch} \alpha \alpha - \cos \beta \alpha)] k^2}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \cdot \frac{EI_y}{GI_d}; \quad A_{43} = \frac{x_1 a b^2 \operatorname{sh} \alpha \alpha + x_2 a^2 \sin \beta \alpha}{x_1 b^2 - x_2 a^2}; \\
 A_{47} &= \frac{-x_1 x_2 b^2 (a \operatorname{sh} \alpha \alpha + b \sin \beta \alpha) k^2}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \cdot \frac{EI_y}{GI_d}; \quad A_{28} = A_{17}; \quad A_{38} = A_{27}; \quad A_{48} = A_{37}; \\
 A_{53} &= \frac{-b^2 (1 - \operatorname{ch} \alpha \alpha) - a^2 (1 - \cos \beta \alpha)}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \cdot \frac{GI_d}{EI_y}; \\
 A_{54} &= \frac{-b^3 (\alpha \operatorname{sh} \alpha \alpha - a^3 (\beta \alpha - \sin \beta \alpha))}{\alpha (x_1 b^2 - x_2 a^2)} \cdot \frac{GI_d}{EI_y}; \\
 A_{57} &= \frac{[x_2 (1 - \operatorname{ch} \alpha \alpha) + x_1 (1 - \cos \beta \alpha)] k^2}{x_1 b^2 - x_2 a^2}; \\
 A_{58} &= \frac{[b x_2 (\alpha \operatorname{sh} \alpha \alpha) + a x_1 (1 - \cos \beta \alpha)] k^2}{ab(x_1 b^2 - x_2 a^2)}; \\
 A_{63} &= \frac{a b^2 \operatorname{sh} \alpha \alpha - a^2 b \sin \beta \alpha}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \cdot \frac{GI_d}{EI_y}; \quad A_{64} = A_{53}; \quad A_{67} = \frac{(-x_2 a \operatorname{sh} \alpha \alpha + x_1 b \sin \beta \alpha) k^2}{x_1 b^2 - x_2 a^2}; \\
 A_{68} = A_{57}; \quad A_{73} &= \frac{a^2 b^2 (\operatorname{ch} \alpha \alpha - \cos \beta \alpha) k^2}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \cdot \frac{GI_d}{k^2 EI_y}; \quad A_{74} = \frac{A_{63}}{k^2}; \\
 A_{77} &= \frac{-x_2 a^2 \operatorname{ch} \alpha \alpha + x_1 b^2 \cos \beta \alpha}{x_1 b^2 - x_2 a^2}; \quad A_{78} = \frac{A_{67}}{k^2}; \quad A_{83} = \frac{a^3 b^2 \operatorname{sh} \alpha \alpha + a^2 b^3 \sin \beta \alpha}{x_1 b^2 - x_2 a^2} \cdot \frac{GI_d}{k^2 EI_y}; \\
 A_{84} = A_{73}; \quad A_{87} &= \frac{-x_2 a^3 \operatorname{sh} \alpha \alpha - x_1 b^3 \sin \beta \alpha}{x_1 b^2 - x_2 a^2}; \quad A_{88} = A_{77}.
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Вираз (15) являє собою дозволяюче рівняння МГЕ для розв'язання крайових задач стійкості плоскої форми вигину конструкцій у вигляді окремих арок, кілець, кільцевих систем і комбінованих арочних систем.

Другий випадок

Коріння дійсні кратні і уявні

$$r^4 + s^4 > 0; s^4 < 0; r^4 < 0. \quad b_1 = \sqrt{-r^2 - \sqrt{r^4 + s^4}}; \quad b_2 = \sqrt{-r^2 + \sqrt{r^4 + s^4}};$$

$$r^2 = \frac{z_2}{2z_1}; \quad s^4 = \frac{z_3}{z_1};$$

$$z_1 = \frac{EI_y EI_\omega}{M_z - \frac{EI_y}{R}}; \quad z_2 = \frac{EI_y G_d}{\left(M_z - \frac{EI_y}{R}\right)} + \frac{EI_\omega}{R}; \quad z_3 = \left(M_z - \frac{GI_d}{R}\right). \quad (17)$$

Загальне рішення рівняння (5) набуде вигляду

$$\theta(\alpha) = C_1 + C_2 \alpha + C_3 \cdot \cos b_1 \alpha + C_4 \sin b_1 \alpha + C_5 \cos b_2 \alpha + C_6 \sin b_2 \alpha \quad (18)$$

Константи інтегрування, виражені через початкові параметри рівняння (11) для цього випадку, мають вигляд

$$C_1 = \theta_{(0)} + \frac{b_2^2 - b_1^2}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2} \left[-\frac{M_{y(0)}}{EI_y} \right] - \frac{x_2 - x_1}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2} \left[-\frac{B_{\omega(0)} k^2}{GI_d} \right];$$

$$C_2 = \theta_{(0)} + \frac{b_1 b_2 (b_2^2 - b_1^2)}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3} \left[-\frac{Q_{z(0)}}{EI_y} \right] - \frac{b_1 x_1 - b_2 x_3}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3} \left[-\frac{M_{\omega(0)} k^2}{GI_d} \right];$$

$$C_3 = -\frac{b_2^2}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2} \left[-\frac{M_{y(0)}}{EI_y} \right] - \frac{x_2}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2} \left[-\frac{B_{\omega(0)} k^2}{GI_d} \right];$$

$$C_4 = -\frac{b_2^3}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3} \left[-\frac{Q_{z(0)}}{EI_y} \right] - \frac{x_4}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3} \left[-\frac{M_{\omega(0)} k^2}{GI_d} \right];$$

$$C_5 = \frac{b_1^2}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2} \left[-\frac{M_{y(0)}}{EI_y} \right] - \frac{x_1}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2} \left[-\frac{B_{\omega(0)} k^2}{GI_d} \right];$$

(19)

$$C_6 = \frac{b_1^3}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3} \left[-\frac{Q_{z(0)}}{EI_y} \right] - \frac{x_3}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3} \left[-\frac{M_{\omega(0)} k^2}{GI_d} \right]; \quad (19)$$

$$x_1 = \frac{b_1^2 (EI_{\omega} b_1^2 + GI_d)}{\left(M_z - \frac{EI_y}{R} \right)}; \quad x_2 = \frac{b_2^2 (EI_{\omega} b_2^2 + GI_d)}{\left(M_z - \frac{EI_y}{R} \right)}; \quad x_3 = b_1 x_1; \quad x_4 = b_2 \cdot x_2.$$

Фундаментальні ортонормовані функції рівняння (15) після всіх перетворень запишуться у вигляді

$$A_{13} = \frac{(b_2^2 - b_1^2) c - b_2^2 \frac{x_1}{b_1^2} \cos b_1 \alpha - b_1^2 \frac{x_2}{b_2^2} \cos b_2 \alpha}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2};$$

$$A_{14} = \frac{b_1 b_2 (b_2^2 - b_1^2) c \alpha - b_2^3 \frac{x_3}{b_1^3} \sin b_1 \alpha + b_1^3 \frac{x_4}{b_2^3} \sin b_2 \alpha}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3};$$

$$A_{17} = \frac{\left[-(x_2 - x_1) c + x_2 \frac{x_1}{b_1^2} \cos b_1 \alpha - x_1 \frac{x_2}{b_2^2} \cos b_2 \alpha \right] k^2 + (x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2) c}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2} \cdot \frac{EI_y}{GI_d};$$

$$A_{18} = \frac{\left[-(b_1 x_4 - b_2 x_3) c \alpha + x_4 \frac{x_3}{b_1^3} \sin b_1 \alpha - x_3 \frac{x_4}{b_2^3} \sin b_2 \alpha \right] k^2 + (x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3) c}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3} \cdot \frac{EI_y}{GI_d};$$

$$A_{23} = \frac{b_2^2 \frac{x_1}{b_1} \sin b_1 \alpha - b_1^2 \frac{x_2}{b_2} \sin b_2 \alpha}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2}; \quad A_{24} = \frac{b_1 b_2 (b_2^2 - b_1^2) c - b_2^3 \frac{x_3}{b_1^3} \cos b_1 \alpha + b_1^3 \frac{x_4}{b_2^3} \cos b_2 \alpha}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3}; \quad (20)$$

$$A_{27} = \frac{\left[-x_2 \frac{x_1}{b_1} \sin b_1 \alpha + x_1 \frac{x_2}{b_2} \sin b_2 \alpha \right] k^2}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2} \cdot \frac{EI_y}{GI_d};$$

$$A_{28} = \frac{\left[-(b_1 x_4 - b_2 x_3) c + x_4 \frac{x_3}{b_1^3} \cos b_1 \alpha - x_3 \frac{x_4}{b_2^3} \cos b_2 \alpha \right]}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3} \cdot \frac{EI_y}{GI_d}; \quad A_{33} = \frac{b_2^2 x_1 \cos b_1 \alpha - b_1^2 x_2 \cos b_2 \alpha}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2};$$

$$\begin{aligned}
 A_{34} &= \frac{b_2^3 \frac{x_3}{b_1} \sin b_1 \alpha - b_1^3 \frac{x_4}{b_2} \sin b_2 \alpha}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3}; & A_{37} &= \frac{[-x_1 x_2 \cos b_1 \alpha + x_1 x_2 \cos b_2 \alpha] k^2}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2} \cdot \frac{EI_y}{GI_d}; \\
 A_{38} &= \frac{\left[-x_4 \frac{x_3}{b_1} \sin b_1 \alpha + x_3 \frac{x_4}{b_2} \sin b_2 \alpha \right] k^2}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3} \cdot \frac{EI_y}{GI_d}; & A_{43} &= \frac{-b_1 b_2^2 x_1 \sin b_1 \alpha + b_1^2 b_2 x_2 \sin b_2 \alpha}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2}; \\
 A_{44} &= \frac{b_2^3 x_3 \cos b_1 \alpha - b_1^3 x_4 \cos b_2 \alpha}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3}; & A_{47} &= \frac{[x_1 x_2 b_1 \sin b_1 \alpha - x_1 x_2 b_2 \sin b_2 \alpha] k^2}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2} \cdot \frac{EI_y}{GI_d}; \\
 A_{48} &= \frac{\left[-x_3 x_4 \frac{x_3}{b_1} \cos b_1 \alpha + x_3 x_4 \frac{x_4}{b_2} \cos b_2 \alpha \right] k^2}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3} \cdot \frac{EI_y}{GI_d}; & A_{53} &= \frac{b_2^2 (1 - \cos b_1 \alpha) - b_1^2 (1 - \cos b_2 \alpha)}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2} \cdot \frac{GI_d}{EI_y}; \\
 A_{54} &= \frac{b_2^3 (b_1 \alpha - \sin b_1 \alpha) - b_1^3 (b_2 \alpha - \sin b_2 \alpha)}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3} \cdot \frac{GI_d}{EI_y}; & A_{57} &= \frac{[-x_2 (1 - \cos b_1 \alpha) + x_1 (1 - \cos b_2 \alpha)] k^2}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2}; \\
 A_{58} &= \frac{[-x_4 (b_1 \alpha - \sin b_1 \alpha) + x_3 (b_2 \alpha - \sin b_2 \alpha)] k^2}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3}; & A_{63} &= \frac{b_1 b_2^2 \sin b_1 \alpha - b_1^2 b_2 \sin b_2 \alpha}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2} \cdot \frac{GI_d}{EI_y}; \\
 A_{64} &= \frac{b_1 b_2^3 (1 - \cos b_1 \alpha) - b_1^3 b_2 (1 - \cos b_2 \alpha)}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3} \cdot \frac{GI_d}{EI_y}; & A_{67} &= \frac{[-x_2 b_1 \sin b_1 \alpha + x_1 b_2 \sin b_2 \alpha] k^2}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2}; \\
 A_{68} &= \frac{[-x_4 b_1 (1 - \cos b_1 \alpha) + x_3 b_2 (1 - \cos b_2 \alpha)] k^2}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3}; & A_{73} &= \frac{b_1^2 b_2^2 \cos b_1 \alpha - b_1^2 b_2^2 \cos b_2 \alpha}{(x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2) k^2} \cdot \frac{GI_d}{EI_y}; \\
 A_{74} &= \frac{b_1^2 b_2^3 \sin b_1 \alpha - b_1^3 b_2^2 \sin b_2 \alpha}{k^2 (x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3)} \cdot \frac{GI_d}{EI_y}; & A_{77} &= \frac{-x_2 b_1^2 \cos b_1 \alpha + x_1 b_2^2 \cos b_2 \alpha}{x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2}; \\
 A_{78} &= \frac{-x_4 b_1^2 \sin b_1 \alpha + x_3 b_2^2 \sin b_2 \alpha}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3}; & A_{83} &= \frac{-b_1^3 b_2^3 \sin b_1 \alpha + b_1^2 b_2^3 \sin b_2 \alpha}{k^2 (x_1 b_2^2 - x_2 b_1^2)} \cdot \frac{GI_d}{EI_y}; \\
 A_{84} &= \frac{b_1^3 b_2^3 \cos b_1 \alpha - b_1^3 b_2^3 \cos b_2 \alpha}{k^2 (x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3)} \cdot \frac{GI_d}{EI_y}; & A_{87} &= \frac{x_2 b_1^3 \sin b_1 \alpha - x_1 b_2^3 \sin b_2 \alpha}{(x_3 b_2^3 - x_2 b_1^2)}; \\
 A_{88} &= \frac{-x_4 b_1^3 \cos b_1 \alpha + x_3 b_2^3 \sin b_2 \alpha}{x_3 b_2^3 - x_4 b_1^3}; & C &= \frac{GI_d}{\left(M_z - \frac{EI_y}{R} \right)}.
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

Дані фундаментальні функції, як і вирази (16), служать вихідною математичною моделлю задач стійкості кругових арок.

Аналіз пропонованого підходу розв'язання задач стійкості

1. Випадок $M_Z = const$. Даний випадок для кругових арок є рідкісним і можливим тільки при шарнірному закріпленні опор і їх навантаженні зосередженими рівними згинальними моментами. У такому випадку рівняння (15) можна використовувати безпосередньо для всієї конструкції за алгоритмом МГЕ [2]-[6].

2. Випадок, коли M_Z є деяка функція кутової координати α . Для аркових конструкцій це найбільш поширений випадок. Тут необхідно мати аналітичний вираз функції $M_Z(\alpha)$. Найбільш просто цю функцію можна побудувати також за алгоритмом МГЕ [5]-[6], де з вичерпною повнотою описана процедура обчислення функції $M_Z(\alpha)$ від заданих навантажень. Далі арку розбивають на n частин [7]-[9].

У кожній частині обчислюють за відомим висловом значення згинального моменту M_Z так, щоб площа східчастої фігури M_Z дорівнювала площі дійсної епюри M_Z . Якщо ця умова витримується, то при $n \geq 30$ виходять практично точні результати критичних навантажень $M_{кр}$, $F_{кр}$, $q_{кр}$ [10]-[12].

Слід зазначити, що проведені дослідження зняли проблеми математичного моделювання досить складних задач стійкості конструктивних елементів вантажопідйомних машин.

Висновки

1. При вирішенні завдань стійкості плоскої форми вигину арок МСЕ потрібно вирішити близько 1000 лінійних алгебраїчних рівнянь. Похибка отриманого рішення буде близько 5 %. Для розв'язання задач стійкості арок МГЕ потрібно вирішити всього вісім рівнянь і похибка результатів буде менше 1 %.

2. Представлено спрощену систему диференціальних рівнянь задач стійкості плоскої форми вигину стержнів у вигляді кругових арок зі змінними коефіцієнтами. Як невідомі виступають горизонтальні переміщення і кути закручування осі кругових арок.

3. Складено звичайне диференціальне рівняння шостого порядку з постійними коефіцієнтами для розглянутих задач стійкості та використання технології МГЕ. Отримане рівняння дозволяє побудувати по відомій теорії точний аналітичний розв'язок задач стійкості кругових арок.

4. Сформовано матричне рівняння крайових задач стійкості плоскої форми вигину кругових арок МГЕ. Наявність цього рівняння дозволяє істотно спростити логіку розв'язання задач стійкості і отримувати точні значення критичних навантажень.

Аналіз представленої матеріалу показує, що можливо в рамках алгоритму чисельно-аналітичного варіанту МГЕ побудувати дозволяюче рівняння задач стійкості плоскої форми вигину кругових стержнів. Дане рівняння може бути застосовано до вирішення досить складних задач стійкості різноманітних конструкцій, що містять стержні, окреслені по дузі кола.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Hans De Backer. Buckling design of steel tied-arch bridges [Text] / Hans De Backer, Amelie Outtier, Philippe Van Bogaert // *Journal of Constructional Steel Research*. – 103. – 2014. – P. 159-167.
2. Louise C.N. Performance of lightweight thin-walled steel sections: theoretical and mathematical considerations [Text] / C.N. Louise, A.M. Md Othuman, M. Ramli. Performance of lightweight thin-walled steel sections: theoretical and mathematical considerations // *Applied Science Research*. – 2012. – № 3 (5). – P. 2847-2859.
3. Yong-Lin Pi. In-plane stability of preloaded shallow arches against dynamic snap-through accounting for rotational end restraints [Text] / Yong-Lin Pi, Mark Andrew Bradford // *Engineering Structures*. – Volume 56. – November 2013. – P. 1496-1510.
4. Becque J. The direct strength method for stainless steel compression members [Text] / J. Becque, M. Lecce, J.R. Kim Rasmussen // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2008. – Vol. 64. – Issue 11. – P. 1231-1238.
5. Andreev V. Energy Vethod in the Calculation Stability of Compressed Polymer Rods Considering Creep [Text] / Vladimir I. Andreev, Anton S. Chepurenko, Batur M. Yazyev // *Advanced Materials Research*. – Vols. 1004-1005. – 2014. – P. 257-260. Trans Tech Publications, Switzerland.
6. Артюхин Ю.П. Приближенный аналитический способ исследования деформаций пространственных криволинейных стержнем [Текст] / Ю.П. Артюхин // *Ученые записки Казанского университета. Физико-математические науки*. – 2012. – Т. 154. – С. 97-111.
7. Wen-Liang Qiu. Stability Analysis of Special-Shape Arch Bridge [Text] / Wen-Liang Qiu, Chin-Sheng Kao, Chang-Huan Kou, Jeng-Lin Tsai and Guang Yang // *Tamkang Journal of Science and Engineering*. – 2010. – Vol. 13. – № 4. – P. 365-373.

8. Pettit J. *Improved Detection of Rough Defects for Ultrasonic Non-destructive Evaluation Inspections Based on Finite Element Modelling of Elastic Wave Scattering [Text]* / James R. Pettit, Anthony E. Walker, Michael J.S. Lowe // *IEEE Transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*. – 2015. – Vol. 62. – № 10. – P. 1797-1808.
9. Langer U. *Fast Boundary Element Methods in Engineering and Industrial Applications [Text]* / Langer U., Schanz M., Steinbach O., Wendland W.L. // Springer, 2012. – P. 192-198.
10. Orobej V. *Boundary element method in problem of plate elements bending of engineering structures [Text]* / V. Orobej, L. Kolomiets, A. Lymarenko // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – № 4. – P. 295-302.
11. Kolomiets L. *Method of boundary element in problems of stability of plane bending beams of rectangular cross section. Structures [Text]* / L. Kolomiets, V. Orobej, A. Lymarenko // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2016. – № 3. – P. 59-65.
12. Orobej V. *Mathematical modeling of the stressed-deformed state of circular arches of specialized cranes [Text]* / V. Orobej, O. Dashchenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko, Y. Ovcharov // *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – 5/8 (89). – P. 4-11.

Стаття надійшла до редакції 12.02.2018

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, засл. діяч науки і техніки
України Одеського національного політехнічного університету
А.Ф. Дашченко

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

УДК 621.791.927

**ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ
ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ДУГОЙ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО ПОЯСКА
ТАРЕЛОК КЛАПАНОВ СУДОВЫХ ДВС
ИЗ СТАЛЕЙ 40X10C2M И 40X9C2**

О.И. Стальниченко, Б.В. Смажило, Р.В. Котенко

Аннотация. Разработана технология плазменно-порошковой наплавки пульсирующей дугой уплотнительного пояска тарелки клапанов, изготовленных из сталей 40X9C2 и 40X10C2M.

Ключевые слова: пульсирующая дуга, клапан, отжиг, охлаждение, плазменная наплавка.

**ТЕХНОЛОГІЯ ПЛАЗМЕНОЇ НАПЛАВКИ
ПУЛЬСУЮЧОЮ ДУГОЮ УЩІЛЬНЮВАЛЬНОГО ПАСКА
ТАРІЛОК КЛАПАНІВ СУДНОВИХ ДВЗ
ІЗ СТАЛЕЙ 40X10C2M ТА 40X9C2**

О.І. Стальниченко, Б.В. Смажило, Р.В. Котенко

Анотація. Розроблено технологію плазмово-порошкового наплавлення пульсуючою дугою ущільнювального паска тарілки клапанів, виготовлених із сталей 40X9C2 та 40X10C2M.

Ключові слова: пульсуюча дуга, клапан, відпал, охолодження, плазмова наплавка.

**TECHNOLOGY OF PLASMA SURFACE
BY PULSING ARC OF SEALING VALVE OF VARIANTS
OF VESSEL ICE VALVES
FROM STEELS 40X10C2M AND 40X9C2**

O.I. Stalnichenko, B.V. Smazhilo, R.V. Kotenko

Abstract. The technology of plasma-powder surfacing with a pulsating arc of the sealing band of the valve plate made of steels 40X9S2 and 40X10S2M was developed.

Keywords: pulsating arc, valve, annealing, cooling, plasma surfacing.

Проведенные экспериментальные работы [1] позволили разработать технологию наплавки пульсирующей дугой уплотнительного пояска тарелки клапана.

Заготовка клапана, полученная свободной ковкой, подвергается отжигу. Для клапанов, изготовленных из стали 40X9C2 температура отжига 1133 К, время отжига один час. Для стали 40X10C2M температура отжига 1273 К, время отжига определяется из условия: одна минута на один миллиметр диаметра или толщины заготовки.

Заготовки охлаждаются с печью до температуры 670 К с последующим охлаждением на воздухе.

Отожженные заготовки клапанов подвергаются механической обработке под наплавку.

Проточку заготовки клапана необходимо контролировать с помощью шаблонов. Подготовленные под наплавку клапана должны пройти магнитную дефектоскопию. Наличие трещин на заготовке клапана перед плазменной наплавкой не допускается.

Наплавка уплотнительного пояса клапана производится порошком PR-N77X15C3P2 или другим такого же химического состава. Просеянный порошок перед наплавкой необходимо просушить в печи при температуре от 393 до 403 К в течение не менее одного часа.

В качестве плазмообразующего, транспортирующего и защитного газов использовать необходимо инертный газ-аргон по не ниже первого сорта.

Наплавка уплотнительного пояса тарелки заготовки клапана производится на установке [2].

Установка укомплектована стойкой-манипулятором для крепления установки в рабочее положение и вращение заготовки клапана, сварочным источником типа ВДУ-504 или ВДУ-506 или другими с такими же характеристиками, плазмотроном для плазменно-порошковой наплавки, необходимой контрольно-измерительной аппаратурой.

Для обеспечения пульсирующего сварочного тока установка должна комплектоваться приставкой, разработанной нами, которая обеспечивает независимое регулирование токов и времени импульса и паузы.

Подготовленную заготовку клапана установить и закрепить в патроне манипулятора таким образом, чтобы при вертикальном положении плазменной дуги угол между осью клапана и горизонтальной плоскостью составлял 60°.

Перед наплавкой необходимо обезжирить наплавляемые поверхности.

Наплавку уплотнительного пояса клапана необходимо производить со смещением плазмотрона относительно зенита на величину от 8 до 10 мм в сторону, противоположную вращению заготовки клапана.

Наплавку уплотнительного пояса заготовки клапана производить пульсирующей плазменной дугой на режимах, указанных в таблице.

При окончании наплавки для предотвращения образования рыхлоты в кратере после замыкания начала и конца последнего наплавляемого валика, необходимо, не прекращая вращения детали в течение от 15 до 20 секунд производить плавное уменьшение величины тока импульса порошка. При равенстве токов импульса и паузы произвести выключение сварочного источника.

Наплавлений клапан охладить на спокойном воздухе и произвести визуальный осмотр наплавленного слоя. Поры и трещины не допускаются.

Таблица

Режим наплавки пульсирующей плазменной дугой заготовок клапанов

| Наименование параметра сварочного режима | Единица измер. | Значение параметров сварки при наплавке клапанов | |
|--|----------------|--|---------------|
| | | чертеж клапана | |
| | | | 702-25-151 СБ |
| | | 485-29-151 СБ | 603-29-151 СБ |
| | | 566-29-151 СБ | 862-29-151 СБ |
| | | 566-30-151 СБ | 862-30-151 СБ |
| | | 566-30-51-1 СБ | |
| | | 579-30-201 СБ | |
| | | 611-29-151 СБ | |
| | | 611-29-151-1 СБ | |
| Ток импульса | А | 200-210 | 150-160 |
| Ток паузы | А | 70-75 | 70-75 |
| Время импульса | с | 0,5 | 0,5 |
| Время паузы | с | 1 | 1 |
| Скорость наплавки | мм/с | 3,2-3,4 | 2,8-2,9 |
| Расход газа: | | | |
| – плазмообразующего | л/мин | 1,8-2 | 1,8-2 |
| – транспортирующего | л/мин | 5-6 | 5-6 |
| – защитного | л/мин | 14-16 | 14-16 |
| Расход порошка | г/мин | 23-25 | 15-20 |
| Амплитуда колебаний плазмотрона | мм | 6-7 | 6-7 |
| Количество слоев наплавки | шт. | 3 | 2 |

Перед термообработкой на наплавленный материал нанести слой смеси, состоящей из 4 кг известкового теста и воды, добавляемой с таким расчетом, чтобы получить 10 литров раствора. Нанесенную обмазку просушить от 1 до 1,5 часов при комнатной температуре.

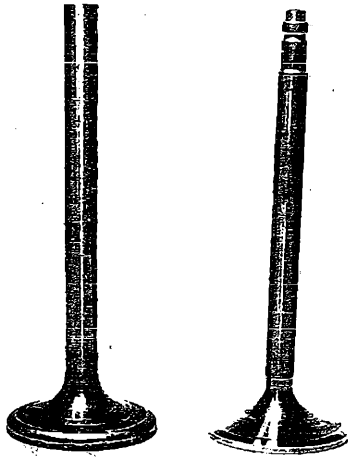
Произвести закалку заготовки клапана с наплавленным уплотнительным пояском при температуре 1273 К с охлаждением в масле. Время выдержки заготовки клапана при температуре закалки определяется из условия: одна минута на один миллиметр диаметра или толщины детали.

После закалки произвести высокотемпературный отпуск при температуре 1013 К. Для стали 40X10C2M выдержка при отпуске 2 часа, для стали 40X9C2 выдержка при температуре отпуска 3 часа. Охлаждение заготовки клапана с температуры отпуска произвести в воде.

После термообработки произвести механические испытания образцов, вырезанных из стержня клапана. Из заготовок одной партии, совместно прошедших термообработку должно проверяться 2 % изготовленных клапанов, но не менее двух штук.

После термообработки заготовкой клапана с наплавленным уплотнительным пояском производится токарная обработка согласно соответствующему чертежу клапана.

Обработанный клапан проходит цветную дефектоскопию наплавленного металла и магнитную дефектоскопию основного металла. Наличие трещин и пор в наплавленном металле клапана не допускается (рисунок).



*Рисунок. Клапана дизеля «Вяртсиля» 24 TS
после наплавки и механической обработки*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кравцов Г.Г., Стальниченко О.И. Плазменно-порошковий метод восстановления деталей мощных судовых дизелей // V Конгресс международной морской ассоциации стран Восточного средиземноморья. – Афины. –1990. – С. 339-342.
2. Стальниченко О.И. // Установка для наплавки клапанов судовых дизелей. – Одесса: ОНМУ, 2009. – С. 36.

Стаття надійшла до редакції 12.02.2018

Рецензенти:

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

доктор технічних наук, професор директор Навчально-наукового інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартинівського **М.Г. Хмельнюк**

УДК 621.791.927

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ
ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ СТАЦИОНАРНОЙ
И ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ДУГОЙ К СТАЛЯМ МАРТЕНСИТНОГО КЛАССА

О.И. Стальниченко, Д.В. Иоргачев, В.Д. Иоргачев

Аннотация. Приведены результаты исследований структуры наплавленного металла плазменно-порошковой наплавкой стационарной и пульсирующей дугой.

Ключевые слова: плазменная наплавка, пульсирующая дуга, структура металла, зона термического влияния.

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ
ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ СТАЦІОНАРНОЮ
І ПУЛЬСУЮЧОЮ ДУГОЮ ДО СТАЛЕЙ МАРТЕНСИТНОГО КЛАСУ

О.І. Стальніченко, Д.В. Іоргачев, В.Д. Іоргачев

Анотація. Наведено результати досліджень структури наплавленого металу плазменно-порошковим наплавленням стаціонарною і пульсуючою дугою.

Ключові слова: плазмова наплавка, пульсуюча дуга, структура металу, зона термічного впливу.

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL SCHEMES OF PLASMA-POWDER
WELDING OF A STATIONARY AND PULSING ARC TO STEELS
OF THE MARTENSITE CLASS

O.I. Stalnichenko, D.V. Iorgachev, V.D. Iorgachev

Abstract. The results of investigations of the structure of the deposited metal by plasma-powder surfacing by a stationary and pulsed arc are presented.

Keywords: plasma surfacing, pulsating arc, metal structure, heat affected zone.

Проведенные экспериментальные работы позволили установить существенное изменение структуры наплавленного металла при переходе от стационарной плазменной дуги к пульсирующей.

При пульсирующей плазменной дуге происходит резкое измельчение структуры наплавленного металла, что должно привести к повышению служебных характеристик и, в частности, износостойкости. Нами экспериментально подтверждено, что применение пульсирующей дуги приводит к измельчению структур сплавов на никелевой основе (H77X15C3P2), чугунов (нерезист), аустенитного материала.

В настоящей статье изложены результаты исследования по изучению плазменно-порошковой наплавки пульсирующей дугой применительно к зоне термического влияния основного металла.

Известно, что при использовании дуговых способов наплавки, в том числе и плазменных [1], основной металл у линии сплавления нагревается до температуры плавления и, следовательно, в зоне термического влияния будут участки перегрева. На участке перегрева неизбежен рост зерна, что приводит к уменьшению ударной вязкости.

Поскольку избежать перегрева основного металла при дуговых способах наплавки не представляется возможным, необходимо стремиться к уменьшению размеров участка перегрева [2].

Предварительными исследованиями было установлено, что при равных токах наплавки зона термического влияния при плазменно-порошковой наплавке пульсирующей дугой несколько меньше, чем при наплавке стационарной дугой (в среднем на 18 %), но в период прохождения импульса тока наблюдается увеличение зоны термического влияния, что можно объяснить оттеснением или уменьшением жидкой прослойки металла под дугой и увеличением нагрева основного металла, что ведет к различной величине зерна в зоне термического влияния. Это проявляется особенно при увеличении скорости наплавки, рис 1.

Как отмечалось выше, исправить такую структуру можно лишь полной фазовой перекристаллизацией.

При уменьшении скорости при наплавке пульсирующей дугой разнотеренность структуры уменьшается, но при этом величина зерна увеличивается, рис. 2.

У края тарелки клапана зерно несколько крупнее, чем у края наплавки, расположенной ближе к штоку, рис 3. Это объясняется большим перегревом края тарелки, которое уменьшается по мере приближения к току клапана. Балл зерна структуры на рис. 3 а равен 3, а у края тарелки 4-5. В зоне, расположенной ближе к штоку, балл зерна 5-6, рис. 3 б.

В зоне термического влияния как при наплавке стационарной плазменной дугой, так и при наплавке пульсирующей дугой, образуется мартенсит, происходят рост зерна, что обуславливает проведение термообработки после наплавки.

Для изучения влияния технологии наплавки пульсирующей дугой на деформацию изделия были проведены опытные наплавки на пластины из стали 40Х9С2; размером 200х50х15 мм.

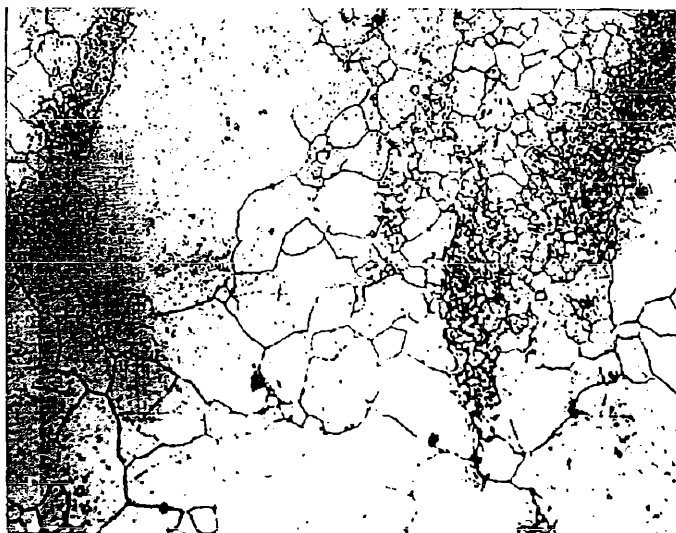
Пластины после механической обработки проходили термообработку (закалку + высокотемпературный отпуск).

Режимы наплавки при стационарной и пульсирующей дуге выбраны в интервале от 100 до 150 А, причём для пульсирующей дуги эти значения соответствуют средним значениям.

После наплавки валика на пластину и охлаждения на воздухе до комнатных температур производили замер стрелы прогиба образца.

В процессе экспериментов установлено, что с увеличением тока импульса при постоянном среднем токе наплавки и токе паузы деформации увеличиваются, сварочные деформации увеличиваются при увеличении времени прохождения тока импульса.

При увеличении тока паузы при неизменном среднем токе и токе импульса сварочные деформации меньше в среднем на 6 %, чем при изменении тока импульса.

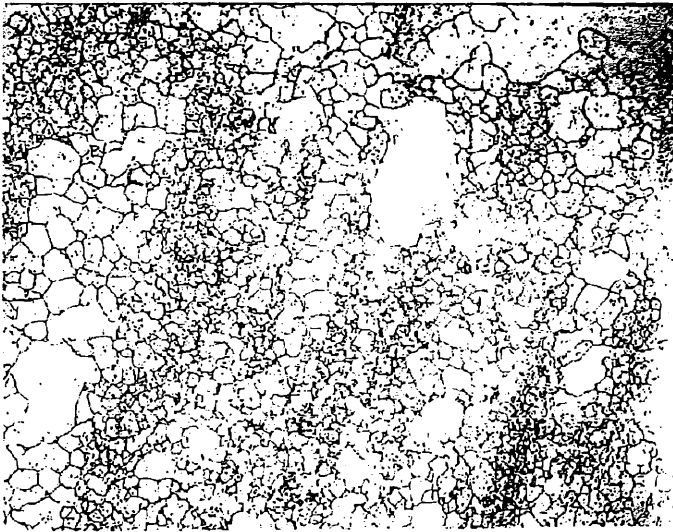


a) (x 200)

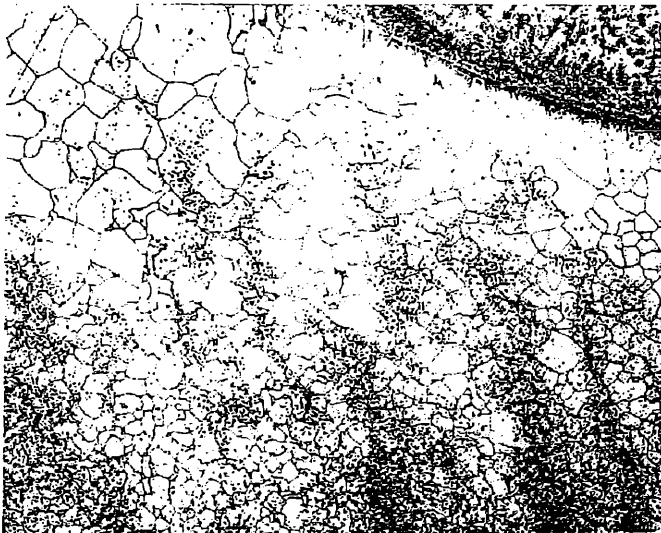
Рис. 1. Структура стали 40X10C2M в зоне термического влияния при наплавке пульсирующей дугой:

a – зерно в зоне импульса тока;

б – зерно в зоне паузы тока скорость наплавки 18 м/ч

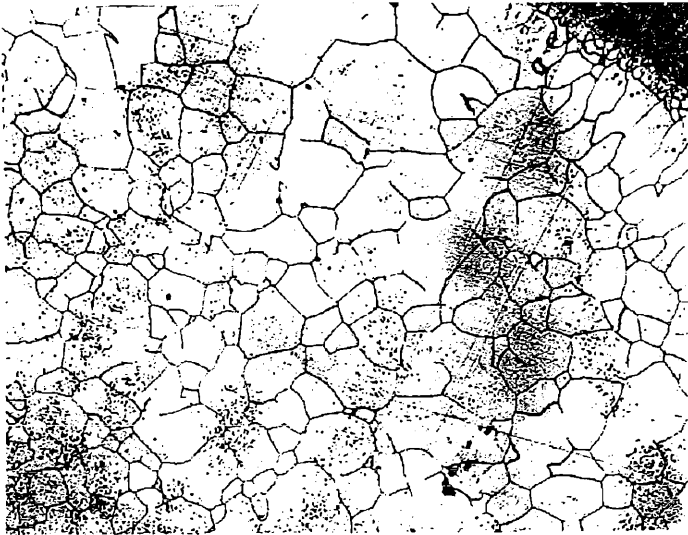


Продолжение рис. 1

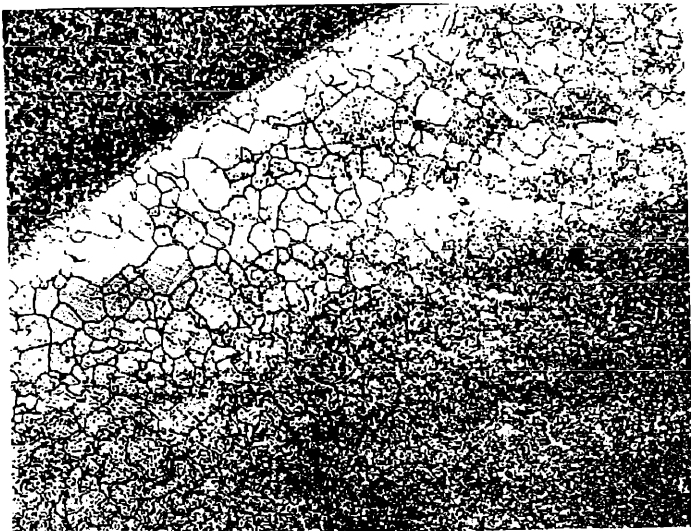


(x 100)

Рис. 2. Структура стали 40X10C2M в зоне термического влияния при наплавке пульсирующей дугой: скорость наплавки 12 м/ч



а) (x 100)



б) (x 100)

Рис. 3. Структура стали 40X1002М в зоне термического влияния при наплавке пульсирующей дугой тарелки клапана

Сварочные деформации образцов, наплавленные на одинаковых средних токах, при плазменно-порошковой наплавке пульсирующей дугой меньше в среднем на 15 % чем при наплавке стационарной дугой.

Необходимо отметить, что качественное формирование наплавленного валика при наплавке пульсирующей дугой обеспечивается при минимальном среднем токе равном 105 А, а при наплавке стационарном дугой лишь при токе не менее 120 А.

Определение склонности наплавленного металла к трещинообразованию при наплавке стационарной и пульсирующей дугой проводили при наплавке валиков на пластины при скорости наплавки 18 м/ч. Критерием склонности к образованию трещин принято количество трещин на 100 мм валика.

Экспериментально не установлено влияние способа наплавки на трещинообразование наплавленного металла, что вероятно, связано с высокой исходной хрупкостью износостойких сплавов на никелевой основе.

При проведении закалки склонность к образованию «нароста» металла, наплавленного пульсирующей дугой значительно меньше, чем при наплавке стационарной.

При наплавке пульсирующей дугой разброс значений твердости наплавленного металла существенно меньше, а твердость наплавленного металла выше на величину от 3 до 4 единиц НРС, чем при наплавке стационарной дугой.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Кравцов Г.Г., Стальниченко О.И. Новые технологические процессы восстановления деталей судовых дизелей // Технология судоремонта. – 1990. – № 1. – С. 16-19.*
2. *Стальниченко О.И., Иоргачов Д.В. Иоргачов В.Д. // Восстановление деталей судов. – 2014. – С. 324.*

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, професор директор Навчально-наукового інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського **М.Г. Хмельнюк**

УДК 620:178.3

**ОЦЕНКА СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ
КОЭФФИЦИЕНТА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ**

А.В. Коноплев, О.Н. Кононова, Е.К. Рожко

Аннотация. Рассмотрено влияние уровня прочности деталей и уровня действующих напряжений на коэффициент относительной долговечности. Проведен расчёт его возможной максимальной систематической погрешности, обусловленной этими факторам.

Проведенные расчёты показали, что максимальная систематическая погрешность определения коэффициента относительной долговечности уменьшается с увеличением уровня прочности. В зависимости от уровня напряжений этот коэффициент незначительно уменьшается или остаётся постоянным.

Ключевые слова: восстановление деталей, коэффициент относительной долговечности, предел выносливости, кривая усталости.

**ОЦІНКА СИСТЕМАТИЧНОЇ ПОХИБКИ
КОЕФІЦІЄНТА ВІДНОСНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ**

А.В. Коноплев, О.М. Кононова, О.К. Рожко

Анотація. Розглянуто вплив рівня міцності деталей і рівня діючих напружень на коефіцієнт відносної довговічності. Проведено розрахунок його можливої максимальної систематичної похибки, обумовленої цими факторами.

Проведені розрахунки показали, що максимальна систематична похибка визначення коефіцієнта відносної довговічності зменшується зі збільшенням рівня міцності. Залежно від рівня напружень цей коефіцієнт незначно зменшується або залишається постійним.

Ключові слова: відновлення деталей, коефіцієнт відносної довговічності, границя витривалості, крива втоми.

**ESTIMATION OF THE SYSTEMATIC ERROR
OF THE COEFFICIENT OF RELATIVE DURABILITY**

A.V. Konoplev, O.N. Kononova, E.K. Rozhko

The influence of the strength level of the parts and the level of acting stresses on the coefficient of relative durability is considered. Calculation of its possible maximum systematic error due to these factors has been made.

The calculations showed that the maximum systematic error in determining the coefficient of relative durability decreases with increasing strength. Depending on the level of stresses, this coefficient decreases slightly or remains constant.

Keywords: restoration of parts, coefficient of relative longevity, endurance limit, fatigue curve.

Постановка проблеми. Для оперативной оценки характеристик сопротивления усталости деталей, подвергнутых восстановительным операциям (наплавка, напыление, упрочнение) используют ускоренные экспериментальные методы. В качестве сравниваемых параметров принимают пределы выносливости восстановленных объектов (образцов, моделей или натуральных деталей) [1]. В работе [2] было предложено вместо предела выносливости принимать в качестве параметра для сравнения коэффициент относительной долговечности k_γ , который определяется из выражения

$$k_\gamma = \frac{\lg N_2 - \lg N_1}{\lg N_1}, \quad (1)$$

где N_1 и N_2 – долговечности до разрушения, соответствующие двум испытанным объектам при одинаковом уровне циклической нагрузки σ .

Исследование величины k_γ показало, что она зависит от выбора модели кривой усталости и уровня нагрузки. При этом минимальная систематическая погрешность (до 6 %) имела место при использовании в качестве модели кривой усталости показательного и степенного уравнений. Этот результат был получен расчётным путём для одного значения предела выносливости ($\sigma_R = 200$ МПа).

Между тем, уровень прочности объектов, характеризуемый в данном случае пределом выносливости, наряду с моделью кривой усталости и уровнем напряжений при испытаниях стационарной нагрузкой вносит свою дополнительную систематическую погрешность при оценке коэффициента k_γ .

Цель и задачи исследования. Целью статьи является определение диапазона изменения коэффициента относительной долговечности k_γ как в зависимости от уровня нагрузки, так и в зависимости от уровня прочности объектов. Это даст возможность оценить суммарную систематическую погрешность определения этого коэффициента с учётом всех влияющих на него факторов.

Основной материал исследования. Как было показано в статье [2] степенное и показательное уравнения кривой усталости практически равноценны с точки зрения определения коэффициента относительной долговечности k_γ . В связи с этим для проведения исследования примем в качестве модели кривой усталости степенное уравнение в виде

$$\sigma^m N = 10^C, \quad (2)$$

где σ и N – текущие напряжение и число циклов до разрушения;
 m и C – параметры.

Для оценки влияния уровня прочности объектов на величину систематической погрешности коэффициента k_γ воспользуемся корреляционными зависимостями между параметрами наклонного участка кривой усталости m и C от предела выносливости σ_R [3]

$$m_C = f_C(\sigma_R) = a_C \sigma_R + b_C; \quad (3)$$

$$C_C = F_C(\sigma_R) = \alpha_C (m_C + 1) \lg \sigma_R + \beta_C, \quad (4)$$

где $a_C = 0,027$; $b_C = 1,4$; $\alpha_C = 0,997$; $\beta_C = 4,0 + 0,5(2,5 - \lg \sigma_R)^2$, при $\lg \sigma_R \geq 2,5$ $\beta_C = 4,0$ (в среднем $\beta_C = 4,25$).

Одним из основных требований при восстановлении деталей, работающих при циклических нагрузках, является обеспечение их прочности на уровне новых. Принимая во внимание это требование, рассмотрим весь возможный реальный диапазон изменения предела выносливости восстановленных деталей (100-500 МПа).

Для этого диапазона значений σ_R определим с помощью формул (1)-(4) k_γ в зависимости от уровня напряжений σ . Будем также полагать, что максимальное отклонение предела выносливости (восстановленных объектов) от средне-вероятного его значения (новых объектов), обусловлено его рассеянием, и не превышает 20 МПа для всех принятых значений σ_R (табл. 1-5).

Таблица 1

Результаты расчёта значений $\lg N$, k_γ и δ_{k_γ} при $\sigma_R = 100$ МПа

| $\sigma_R = 100$ МПа; $m = 4,10; C = 14,29$ | | $\sigma_R = 120$ МПа; $m = 4,64; C = 15,78$ | | k_γ | $\delta_{k_\gamma}, \%$ |
|--|---------|--|---------|--------------------------|-----------------------------------|
| σ , МПа | $\lg N$ | σ , МПа | $\lg N$ | $\bar{k}_\gamma = 0,056$ | $ \bar{\delta}_{k_\gamma} = 5,6$ |
| 130 | 5,62 | 130 | 5,97 | 0,062 | 11,2 |
| 140 | 5,49 | 140 | 5,82 | 0,060 | 7,3 |
| 150 | 5,37 | 150 | 5,68 | 0,058 | 3,1 |
| 160 | 5,25 | 160 | 5,55 | 0,057 | 2,0 |
| 170 | 5,15 | 170 | 5,43 | 0,054 | -2,9 |
| 180 | 5,04 | 180 | 5,32 | 0,056 | 0 |
| 190 | 4,95 | 190 | 5,21 | 0,053 | -6,2 |
| 200 | 4,86 | 200 | 5,10 | 0,049 | -11,8 |

Таблиця 2

Результаты расчёта значений $\lg N$, k_γ и δ_{k_γ} при $\sigma_R = 200$ МПа

| $\sigma_R = 200$ МПа; $m = 6,80; C = 22,15$ | | $\sigma_R = 220$ МПа; $m = 7,34; C = 23,73$ | | k_γ | $\delta_{k_\gamma}, \%$ |
|--|---------|--|---------|--------------------------|-----------------------------------|
| σ , МПа | $\lg N$ | σ , МПа | $\lg N$ | $\bar{k}_\gamma = 0,048$ | $ \bar{\delta}_{k_\gamma} = 3,0$ |
| 230 | 6,09 | 230 | 6,39 | 0,0493 | 2,6 |
| 240 | 5,96 | 240 | 6,26 | 0,0503 | 4,9 |
| 250 | 5,84 | 250 | 6,13 | 0,0497 | 3,5 |
| 260 | 5,73 | 260 | 6,00 | 0,0471 | -1,8 |
| 270 | 5,62 | 270 | 5,88 | 0,0462 | -3,6 |
| 280 | 5,51 | 280 | 5,77 | 0,0472 | -1,7 |
| 290 | 5,41 | 290 | 5,66 | 0,0462 | -3,7 |
| 300 | 5,31 | 300 | 5,55 | 0,0452 | -5,8 |

Таблиця 3

Результаты расчёта значений $\lg N$, k_γ и δ_{k_γ} при $\sigma_R = 300$ МПа

| $\sigma_R = 300$ МПа; $m = 9,50; C = 29,93$ | | $\sigma_R = 320$ МПа; $m = 10,04;$ $C = 31,57$ | | k_γ | $\delta_{k_\gamma}, \%$ |
|--|---------|---|---------|--------------------------|-----------------------------------|
| σ , МПа | $\lg N$ | σ , МПа | $\lg N$ | $\bar{k}_\gamma = 0,046$ | $ \bar{\delta}_{k_\gamma} = 0,6$ |
| 330 | 6,00 | 330 | 6,28 | 0,047 | 1,4 |
| 340 | 5,88 | 340 | 6,15 | 0,046 | 0 |
| 350 | 5,76 | 350 | 6,03 | 0,046 | 0 |
| 360 | 5,65 | 360 | 5,90 | 0,046 | 0 |
| 370 | 5,53 | 370 | 5,79 | 0,046 | 0 |
| 380 | 5,42 | 380 | 5,67 | 0,046 | 0 |
| 390 | 5,31 | 390 | 5,56 | 0,045 | -1,5 |
| 400 | 5,21 | 400 | 5,45 | 0,045 | -2,0 |

Таблиця 4

Результаты расчёта значений $\lg N$, k_γ и δ_{k_γ} при $\sigma_R = 400$ МПа

| $\sigma_R=400$ МПа; $m=12,20; C=38,25$ | | $\sigma_R=420$ МПа; $m=12,74; C=39,94$ | | k_γ | $\delta_{k_\gamma}, \%$ |
|---|---------|---|---------|------------------------|-------------------------------|
| σ , МПа | $\lg N$ | σ , МПа | $\lg N$ | $\bar{k}_\gamma=0,044$ | $ \bar{\delta}_{k_\gamma} =0$ |
| 430 | 6,12 | 430 | 6,39 | 0,044 | 0 |
| 440 | 6,00 | 440 | 6,26 | 0,044 | 0 |
| 450 | 5,88 | 450 | 6,14 | 0,044 | 0 |
| 460 | 5,76 | 460 | 6,02 | 0,044 | 0 |
| 470 | 5,65 | 470 | 5,90 | 0,044 | 0 |
| 480 | 5,54 | 480 | 5,78 | 0,044 | 0 |
| 490 | 5,43 | 490 | 5,67 | 0,044 | 0 |
| 500 | 5,32 | 500 | 5,56 | 0,044 | 0 |

Для иллюстрации полученных результатов на рисунках 1 и 2 показаны зависимости модуля максимальной и средней погрешности коэффициента относительной долговечности k_γ от прочности объектов (в данном случае от предела выносливости), а также относительные отклонения этого коэффициента в зависимости от разности напряжений $\sigma - \sigma_R$ для принятого интервала значений предела выносливости.

Таблиця 5

Результаты расчёта значений $\lg N$, k_γ и δ_{k_γ} при $\sigma_R = 500$ МПа

| $\sigma_R=500$ МПа; $m=14,90; C=46,80$ | | $\sigma_R=520$ МПа; $m=15,44; C=48,54$ | | k_γ | $\delta_{k_\gamma}, \%$ |
|---|---------|---|---------|------------------------|---------------------------------|
| σ , МПа | $\lg N$ | σ , МПа | $\lg N$ | $\bar{k}_\gamma=0,044$ | $ \bar{\delta}_{k_\gamma} =0,3$ |
| 530 | 6,21 | 530 | 6,48 | 0,043 | -2,3 |
| 540 | 6,09 | 540 | 6,35 | 0,043 | -2,3 |
| 550 | 5,97 | 550 | 6,23 | 0,044 | 0 |
| 560 | 5,85 | 560 | 6,11 | 0,044 | 0 |
| 570 | 5,74 | 570 | 5,99 | 0,044 | 0 |
| 580 | 5,62 | 580 | 5,87 | 0,044 | 0 |
| 590 | 5,51 | 590 | 5,76 | 0,045 | 2,3 |
| 600 | 5,41 | 600 | 5,65 | 0,044 | 0 |

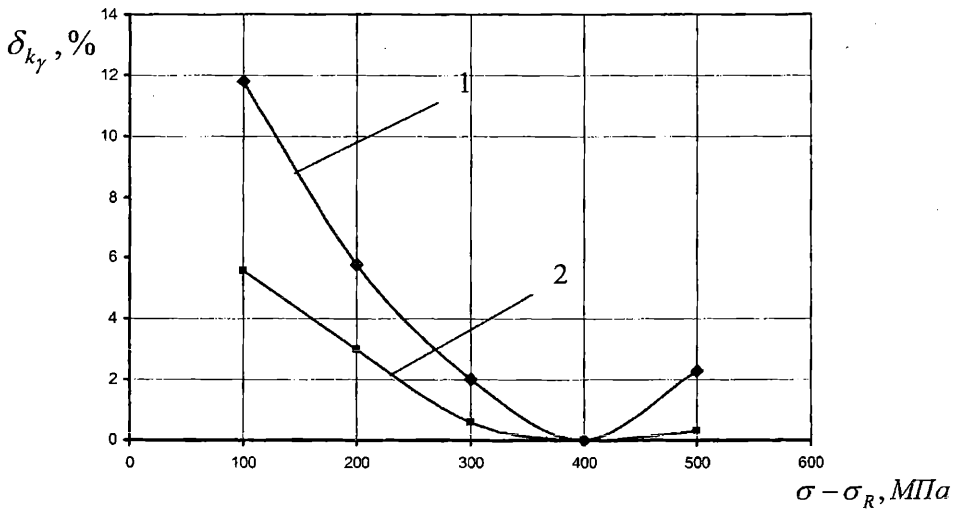


Рис. 1. Зависимость модуля максимальной (кривая 1) и средней (кривая 2) погрешности коэффициента относительной долговечности k_γ от уровня прочности объектов σ_R

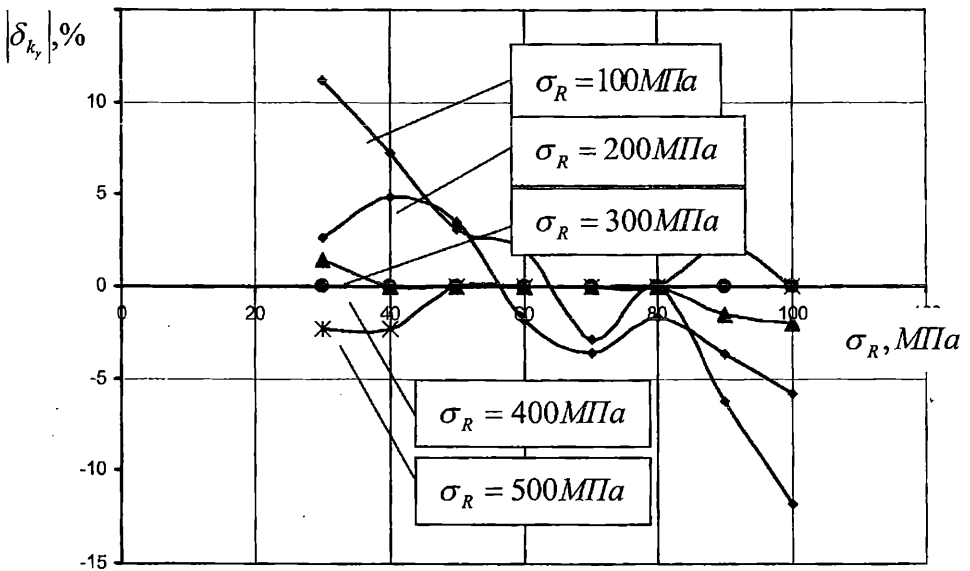


Рис. 2. Зависимости погрешности определения коэффициента k_γ от разности напряжений $\sigma - \sigma_R$ для значений предела выносливости 100, 200, 300, 400, 500 МПа

Выводы

1. Погрешность определения коэффициента относительной долговечности k_γ с помощью корреляционных зависимостей параметров кривой усталости от предела выносливости имеет тенденцию к уменьшению с увеличением предела выносливости до 400 МПа, а затем незначительно возрастает. Максимальное её значение не превышает 12 %.

2. В зависимости от разности напряжений $\sigma - \sigma_R$ погрешность этого коэффициента меняется скачкообразно, принимая как положительные, так и отрицательные значения. При этом максимальные значения коэффициента относительной долговечности k_γ соответствуют границам интервала $\sigma - \sigma_R$. В средней же части этого интервала его величина не превышает 5%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Олійник М.В., Севрюков В.В., Стальніченко О.І. *Конструкційна міцність і відновлення деталей*. – Одеса: Аудиторія, 2000. – 192 с.
2. Коноплёв А.В., Кононова О.Н., Кобаков А.Г. *Сравнительная оперативная оценка долговечности новых и восстановленных деталей* // *Вісник ОНМУ*. – 2017. – № 51. – С. 92-99.
3. Олійник М.В., Стальніченко О.І., Шемшур М.А. *Визначення опору втомленості відновлених суднових деталей*. – Одеса: Астропринт, 1998. – 176 с.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2018

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Технічне обслуговування і ремонт суден» Одеського національного морського університету **В.П. Сторожев**

УДК 556.532:502.7

**ГІДРОХІМІЧНИЙ РЕЖИМ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПОВЕРХНЕВИХ ВОД
В БАСЕЙНІ РІЧКИ КОГИЛЬНИК ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

А.П. Блажко

У статті викладено порівняльні результати хімічного складу та мінералізації поверхневих вод басейну р. Когильник за період 2006-2016 рр. Виконано оцінювання відповідності показників якості води нормативним вимогам та комплексне екологічне оцінювання якості поверхневих вод за середньорічними та максимальними показниками гідрохімічних інгредієнтів на основі розрахунків індексів забруднення води. Встановлено, що за рівнем забруднення вода оцінена від «помірно забрудненої» до «дуже брудної».

Ключові слова: поверхневі води, хімічний склад, оцінювання якості води.

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ
ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В БАСЕЙНЕ РЕКИ КОГИЛЬНИК
ОДЕССКОЙ ОБЛАСТИ**

А.П. Блажко

В статье изложены сравнительные результаты химического состава и минерализации поверхностных вод бассейна р. Когильник за период 2006-2016 гг. Выполнено оценивание соответствия показателей качества воды нормативным требованиям и комплексное экологическое оценивание качества поверхностных вод по среднегодовым и максимальным показателям гидрохимических ингредиентов на основе расчетов индексов загрязнения вод. Установлено, что по уровню загрязнения вода оценена от «умеренно загрязненной» до «сильно загрязненной».

Ключевые слова: поверхностные воды, химический состав, оценивание качества воды.

**HYDROCHEMICAL MODE AND ENVIRONMENTAL SURFACE OF SURFACE
WATER IN THE COCKPIT POOL OF THE KOGILNIK RIVER ODESSA REGION**

A.P. Blazhko

It has been shown in the article comparative results of the chemical composition and mineralization of surface waters of the Kogilnik River in the period from 2006 till 2016. The Estimation of compliance of water quality indicators with regulatory requirements and the complex environmental assessment of surface water quality on the average annual and maximum indicators of hydrochemical ingredients on the basis of calculations of water pollution indices has been made.

It was established that the averaged values of the hydrochemical parameters for the period of investigation of the surface waters of Kogilnik according to the criteria of mineralization are mainly characterized as salt water-II, β – mesogalline (in 2009, α – mesogalline); according to the criteria of the ionic composition – the sulfate class, the sodium group, the second type, the index (S_{II}^{Na}).

It was determined the high level of exceeding the maximum permissible concentrations by mineralization indexes, sulfate ions, chlorine, magnesium, sodium, ammoniacal nitrogen, BSC, dissolved oxygen, which makes it impossible to use the surface waters of the Kogilnik river for ecologically safe fish-culture, housing and utility water management and irrigation farming.

The results of the complex assessment of surface water quality on the basis of the determination of contamination factors indicate that according to the level of pollution, surface waters on average annual indicators are estimated from «moderately polluted» to «dirty» by maximum from «dirty» to «very dirty».

Keywords: *surface waters, chemical constitution, water quality estimation.*

Вступ. Серед природних чинників формування хімічного складу поверхневих вод прийнято виділяти прямі, тобто ті, що безпосередньо впливають на зміну їхнього компонентного складу, й опосередковані, дія яких проявляється через формування певних умов взаємодії речовин [1]. До перших належать гірські породи, ґрунти, живі організми, до других – клімат, рельєф, гідрологічний режим, рослинність, гідрогеологічні умови тощо. Реалізація зазначених взаємодій відбувається шляхом перебігу низки процесів, внаслідок чого змінюється хімічний склад води. Більшість річкових і озерних систем активно використовуються у господарській діяльності, води виступають як джерела водозабезпечення і приймальники промислових, комунальних і сільськогосподарських стічних вод. Серед них майже половину всієї забраної води використовується в промисловості. Інша половина забраної води приблизно порівну витрачається на комунально-побутові потреби населення та сільське господарство, а їхні стічні води спричиняють забруднення водних об'єктів. Більшість сільських населених пунктів не забезпечена очисними спорудами, в багатьох місцях вони працюють неефективно. Отже інтенсивне використання природних поверхневих вод істотно впливає на кількісні та якісні показники водних об'єктів, змінює їхній водний баланс, гідрологічний режим, призводить до збільшення вмісту багатьох компонентів, викликає забруднення нехарактерними для природних об'єктів синтетичними хімічними речовинами, нафтопродуктами, важкими металами тощо. Гідрохімічні показники води у багатьох випадках визначають її якість та придатність води як середовища існування для гідробіонтів, що й обумовлює актуальність теми дослідження.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Провівши огляд наукового матеріалу за темою дослідження, з'ясовано, що гідрохімічний режим та екологічний стан поверхневих вод вивчали науковці Одеського державного екологічного університету, результати досліджень викладені в наукових публікаціях [2; 3]. Автори робіт вказують на «високий рівень» забруднення води р. Когильник за критеріями санітарного режиму, спричиненого перевищенням граничнодопустимих концентрацій гідрохімічних інгредієнтів для господарсько-побутового водокористування. Крім того, дослідженнями встановлено «надзвичайно високий» рівень небезпеки за критеріями органолептичного забруднення та «високий» рівень – за критеріями санітарно-токсикологічного забруднення, що унеможливає використання річкової води для зрошення сільськогосподарських угідь.

Мета дослідження, постановка задачі. Мета дослідження – установити закономірності зміни хімічного складу поверхневих вод р. Когильник у часі та виконати екологічне оцінювання їх якості. Досягається шляхом вирішення наступних задач: 1) виявлення динаміки зміни складу головних іонів та мінералізації води; 2) встановлення тенденції щодо зміни хімічного складу природних вод; 3) виявлення основних забруднювальних речовин; 4) оцінювання відповідності показників якості води нормативним вимогам; 5) комплексне оцінювання якості поверхневих вод на основі визначення коефіцієнтів забрудненості.

Матеріали досліджень. Об'єктом дослідження служать поверхневі води басейну р. Когильник, яка бере початок між пагорбами Кодри, на північному заході від села Чучулень (Молдова). Тече по території Південно-Молдавської височини та Причорноморської низовини переважно на південний схід [4]. Перетинає молдовсько-український кордон на північному заході від смт Серпневе. Далі річка протікає по території Тарутинського, Арцизького, Саратського і Татарбунарського районів Одеської області, впадає в лиман Сасик на південному сході від міста Татарбунари (басейн Чорного моря). Довжина річки складає 243 км (в межах України – 120 км), площа водозбірного басейну 3910 км². Долина у верхів'ї каньйоноподібна, нижче – коритоподібна, з крутими правими та пологими лівими схилами; її ширина до 4 км. Заплава завширшки до 1,5 км. Річище звивисте, на окремих ділянках випрямлене, завширшки 3-10 м, завглибшки від 0,6 до 1,5 м, похил – 0,94 м/км. У спекотні роки через малу кількість опадів водний об'єкт пересихає.

Верхня течія та близько 50 % водозбору розташована на території Молдови, середня і нижня течія та решта водозбору – на території Одеської області. Середньорічна витрата води становить 0,30 м³/с, максимальна – 6,47 м³/с, а мінімальна – 0,0006 м³/с. Річний стік регулюється ставками. Основні притоки: ліві – Скиноса, Чага, Джалар, Чилігидер; праві – Бахмутка, Кагач.

Згідно до фізико-географічного районування Одеської області басейн Когильника знаходиться в Когильницько-Саратському та Бородинсько-Тарутинському районах північно-степової та південно-степової підзон [5]. Серед ґрунтів водорозділів домінують чорноземи звичайні малогумусні. Досліджувана територія характеризується дефіцитом атмосферного зволоження, опади (400-450 мм/рік) носять здебільшого зливовий характер, що приводить до інтенсивного поверхневого стоку та сприяє розвитку ерозійних форм рельєфу.

Вздовж берегової смуги Когильника та його приток (тільки в межах Одеської області) розташовано 11 населених пунктів. Певне антропогенне навантаження на річкову мережу несуть стічні води КП «Водоканал» м. Арциз. Щорічний об'єм скидних зворотних вод на міські очисні споруди за 2012-2015 рр. склав 0,218-0,253 млн. м³, в р. Когильник скинуто 311-413 т забруднюючих речовин [6]. Крім того, до потенційних забруднювачів екосистеми Когильника відносяться: землі сільськогосподарського призначення, що систематично обробляються і створюють ерозійну небезпеку для поверхневих вод річкової мережі; земельні площі під садами та виноградниками, які обробляються хлорорганічними та фосфорорганічними пестицидами для боротьби з сільськогосподарськими шкідниками; мінеральні добрива, хімічні речовини яких змиваються з сільськогосподарських угідь поверхневим та підґрунтовим стоком в річкову мережу та ін.

В роботі використані результати хімічних аналізів води на гідрохімічному посту р. Когильник біля с. Новоолексіївка Татарбунарського району Одеської області за період 2006-2016 рр., джерело вихідної інформації [7]. Проби води відбирались щоквартально згідно до вимог постанови Кабінету Міністрів України від 20.07.1998 р. № 815 «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод» та наказу Міністерства екології та природних ресурсів України від 24.12.2001 р. № 485 «Єдине міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод. Нормативний документ» [8; 9]. Лабораторією гідроекологічного моніторингу Одеської гідролого-меліоративної експедиції (ОГГМЕ) Одеського обласного управління водних ресурсів визначалися: мінералізація та основні іони (карбонати, гідрокарбонати, сульфати, хлориди, кальцій, магній, натрій, калій); фізико-хімічні показники (рН, розчинений кисень, біхромат на окиснюванність, біохімічне споживання кисню за 5 діб); біогенні речовини (азот амонійний, азот нітритний, азот нітратний, фосфор фосфатів); специфічні забруднювальні речовини (нафтопродукти, СПАР); мікроелементи (залізо загальне, мідь, цинк, алюміній, нікель, хром).

Для характеристики гідрохімічного режиму поверхневих вод басейну Когильника вихідну гідрохімічну інформацію за 2006-2016 рр. було упорядковано в часі, розраховувалися середньорічні та визначалися максимальні (найгірші) значення для основних груп компонентів хімічного складу води.

Результати досліджень. Перед тим, як встановити основні закономірності зміни інгредієнтів хімічного складу води басейну р. Когильник у просторово-часовому вимірі та виявити ступінь впливу на ці показники господарської діяльності людини, доцільно надати загальну характеристику сольового складу поверхневих вод, оціненого за сумою іонів та окремими інгредієнтами за середніми і найгіршими (максимальними) значеннями показників. Згідно [10] за осередненими середньорічними та максимальними значеннями гідрохімічних показників 2006-2016 рр. поверхневі води Когильника за критерієм мінералізації, в основному, солонуваті води-II, β – мезогалинні (в 2009 р., α – мезогалинні); за критеріями іонного складу води в досліджуваному періоді були сульфатного класу, групи натрію, другого типу, індекс (S_{II}^{Na}).

Серед компонентів, котрі визначають воду, як життєве середовище гідробіонтів, дуже велике значення мають мінералізація та іонний склад води. Головними іонами сольового складу річкових вод є HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ та K^+ , походження яких у воді пов'язано, в основному, з розчиненням солей, які утворюють гірські породи і ґрунти та з процесами іонного обміну [11].

Загальна мінералізація річкової води Когильника змінювалася за середньорічними значеннями від 2521,0 мг/дм³ (2007 р.) до 5689,0 мг/дм³ (2009 р.), за максимальними щорічними значеннями мінералізація води варіювала у межах 2896,1-6363,6 мг/дм³ (рис. 1).

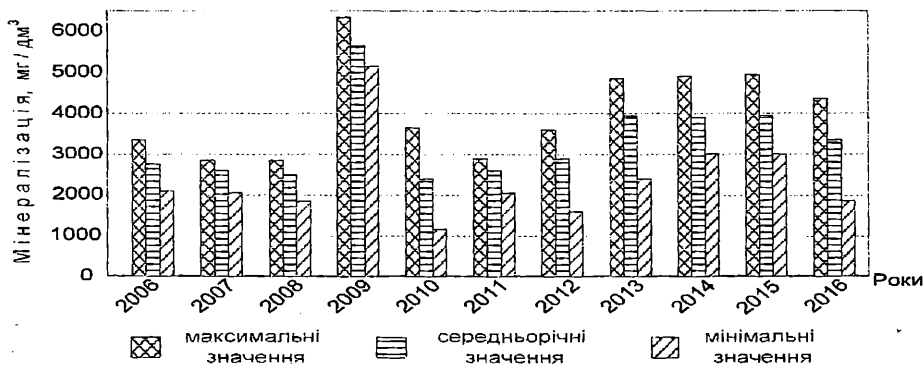


Рис. 1. Динаміка загальної мінералізації поверхневих вод р. Когильник

Високі значення загального вмісту солей в поверхневих водах зафіксовано у 2009 році, коли впродовж усього зазначеного періоду мінералізація змінювалася від 5123,7 до 6363,6 мг/дм³. При цьому перевищення граничнодопустимих концентрацій сульфат-іонів у річковій воді складало 5-6 ГДК, а вміст хлоридів становив 3-4 ГДК. Середня амплітуда коливання загальної мінералізації за весь період досліджень складала

1768,4 мг/дм³, а найменша величина зафіксована восени 2010 року (1121,9 мг/дм³).

Режим сульфатів (SO_4^{2-}) визначають окисно-відновні процеси, біологічна ситуація у водному об'єкті та господарська діяльність людини. Дослідженнями [11] встановлено, що у метаморфізованих водах малих річок (при значній мінералізації) вміст сульфатів може досягати декілька сот мг/дм³. Вміст переважаючого *сульфат-іону* у воді р. Когильник за середньорічними значеннями досліджуваного періоду змінювався від 719,5 мг/дм³ (2007, 2008 рр.) до 2542,3 мг/дм³ (2009 р.), тобто амплітуда коливань склала 1822,8 мг/дм³, а мінімальне значення менше за максимальне у 3,5 рази (рис. 2а). При цьому, середньорічні значення вмісту сульфат-іонів в еквівалентній формі змінювалися від 42,61 до 58,10 %-екв, тобто вода в річці за аніонами мала сульфатний склад. За максимальними значеннями сульфати у воді варіювали від 957,1 мг/дм³ (2007, 2008 рр.) до 3060,0 мг/дм³ (2009 р.).

Гідрокарбонат-іони (HCO_3^-) є важливою частиною хімічного складу природних вод, їх вміст має суттєве значення при використанні їх для водопостачання, оскільки наявність $Ca(HCO_3)_2$ у воді зумовлює так звану карбонатну жорсткість, яка викликає утворення накипу [11]. Середньорічний вміст гідрокарбонатів у воді Когильника змінювався у межах 485,0-1250,0 мг/дм³ (рис. 2а). Амплітуда коливань склала 765,0 мг/дм³. Відсоткова доля гідрокарбонатів від суми аніонів у пробах води змінювалася від 16,4 до 30,1 %-екв.

Хлоридні іони (Cl^-) характеризуються високою міграційною здатністю, у природні води надходять з промисловими та господарсько-побутовими стічними водами [12]. Вміст хлоридів у воді Когильника змінювався від 256,8 мг/дм³ (2009 р.) до 587,6 мг/дм³ (2013 р.). Відсоткова доля хлоридів від загальної суми аніонів у воді змінювалася від 24,8 до 46,2 %-екв.

Іони натрію та калію ($Na^+ + K^+$) відносяться до головних компонентів хімічного складу природних вод і визначають їх тип [12]. В природні води частина натрію може потрапляти з господарсько-побутовими та з поливними водами з сільгоспугідь. Вміст переважаючого катіона *натрію* у воді р. Когильник змінювався від 515,0 мг/дм³ до 999,0 мг/дм³ (рис. 2б). Амплітуда коливань за період дослідження склала 484,0 мг/дм³. Середньорічні значення вмісту іонів натрію в еквівалентній формі змінювалися від 47,60 до 61,70 %-екв.

Іони магнію (Mg^{2+}) надходять у поверхневі води за рахунок хімічного вивітрювання, а також зі стічними водами металургійних, силікатних, текстильних та інших підприємств. Сумарний вміст іонів магнію

та кальцію формує її загальну жорсткість. Середньорічний вміст катіонів магнію у воді Когильника змінювався від 97,2 мг/дм³ (2007, 2008 рр.) до 364,5 мг/дм³ (2009 р.). Зміни вмісту магнію у воді в еквівалентній формі відбувалися на рівні значень 21,0 – 33,3 %-екв від загальної суми катіонів.

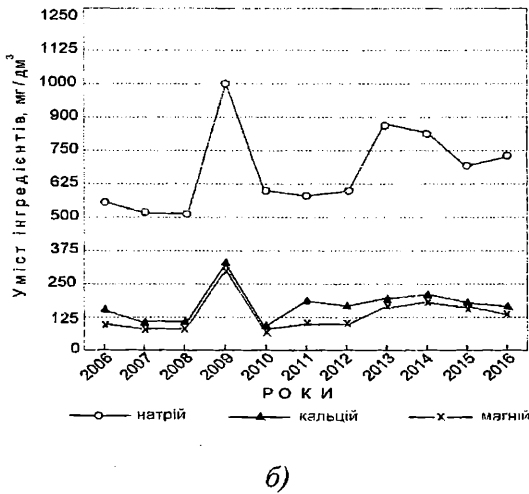
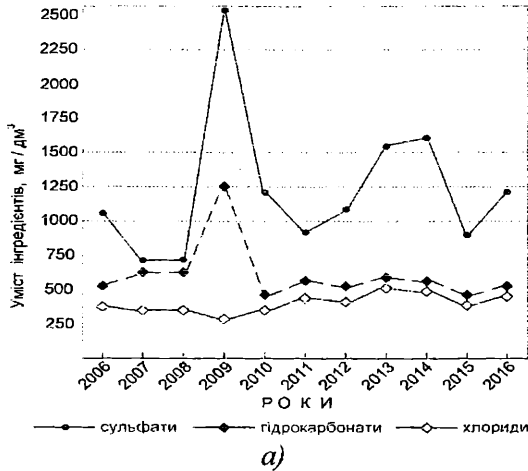


Рис. 2. Зміни вмісту середньорічних значень основних іонів в поверхневих водах р. Когильник: а – аніони; б – катіони

Іони кальцію (Ca^{2+}). Кальцій є домінуючим катіоном для слабо мінералізованих природних вод, при зростанні мінералізації його вміст зменшується. Значна кількість кальцію виноситься з стічними водами силікатних, скловарних підприємств та сільгоспугідь [12]. Дослідженням встановлено, що вміст зазначеного катіона у воді Когильника за середньорічними значеннями змінювався від 97,5 мг/дм³ (2010 р.) до

365,0 мг/дм³ (2009 р.), у еквівалентній формі його вміст варіював у межах 14,8-20,0 %-екв.

Водневий показник (pH) – обумовлений наявністю вільних іонів водню, в природних водах величина досить стабільна і змінюється в незначних межах [12]. Дослідженням встановлено, що в річковій воді Когильника зазначений показник не перевищував граничнодопустимі концентрації і змінювався від 7,9 до 8,1 одиниць.

Кисень (O₂). У поверхневих природних водах зазначений показник змінюється у межах 0-14,0 мг O₂/дм³. Для нормального розвитку риб мінімальний вміст розчиненого кисню становить близько 5 мг O₂/дм³ [13]. Дефіцит кисню спостерігається у водних об'єктах, які містять значну кількість біогенних та гумусових речовин. Зниження кисню до 2 мг O₂/дм³ спричиняє масову гибель риби. За середньорічними значеннями вміст розчиненого кисню в річковій воді досліджуваній водоймі змінювався у межах 1,9-6,3 мг O₂/дм³, а за найгіршими – від 0,3 мг O₂/дм³ до 4,4 мг O₂/дм³. Дослідженням встановлено, що формування незадовільного кисневого режиму в річковій воді спостерігалось починаючи з 2008 року. Так, в пробах води, відібраних 21.08. 2008 р. та 14.11.2008 р., вміст розчиненого кисню становив 0,76 мг O₂/дм³ та 1,75 мг O₂/дм³ відповідно. В 2010 році мінімальне значення розчиненого кисню становило 0,56 мг O₂/дм³, максимальний вміст зафіксовано на рівні 1,62 мг O₂/дм³, середньорічний показник склав 1,05 мг O₂/дм³. Незадовільна ситуація щодо кисневого режиму у поверхневих водах досліджуваного водного об'єкта спостерігалася впродовж 2013 року, а саме: 28.03.2013 р. вміст зазначеного показника становив 2,54 мг O₂/дм³; 24.05.2013 р. – 2,92 мг O₂/дм³; 26.07.2013 р. – 1,95 мг O₂/дм³; 08.11.2013 р. – 0,86 мг O₂/дм³.

Хімічне споживання кисню (ХСК) – характеризує забруднення води органічними речовинами і визначається за кількістю атомарного кисню в міліграмах, який витрачається на її окиснення в 1 дм³ води [14]. За граничними показниками для водойм господарсько-побутового використання (15,0 мгО/дм³) середньорічні значення ХСК у поверхневих водах Когильника змінювалися, в основному, у межах 36,0-164,7 мгО/дм³ (2,4 – 11,0 ГДК_{ГП}). Виняток становить 2009 р., коли середньорічна величина ХСК сягала значення 205,2 мгО/дм³, що в 13,7 разів перевищувало ГДК_{ГП}.

Біологічне споживання кисню протягом п'яти діб (BCK_5) – дає непрямі уявлення щодо кількості органічних речовин у воді. Значення BCK_5 використовують для оцінки ступеня забруднення водного об'єкта та вмісту органічних речовин, які легко окислюються [14]. Дослідженнями встановлено, що у воді Когильника діапазон коливань BCK_5 за середньорічними значеннями становив, в основному, $1,1-10,5 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Слід виділити період 2010-2012 рр., впродовж якого середньорічні значення BCK_5 варіювали у межах $16,0-19,6 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, що перевищує нормативні показники для водойм рибогосподарського та господарсько-побутового використання в 5,3-6,5 рази. За максимальними значеннями зазначений показник змінювався від $4,7 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ (2007 р.) до $27,2 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ (2009 р.). Вищевикладене засвідчує високий рівень забруднення річкових вод Когильника органічними речовинами, що унеможливує екологічно безпечно їх використання для рибогосподарських та культурно-побутових цілей.

Азот амонійний ($N - NH_4^+$). Вміст амонійного азоту у незабруднених річкових водах, в основному, не перевищує $0,5 \text{ мг/дм}^3$. Значна його кількість є ознакою недавнього забруднення вод. Основне джерело надходження в річкові води є господарсько-побутові стічні води, поверхневий стік сільськогосподарських угідь, у випадку використання азотних добрив, стічні води промислових підприємств [15]. Дослідженнями встановлено, що середньорічні концентрації зазначеного інгредієнта у воді р. Когильник змінювалася від $0,23 \text{ мг/дм}^3$ (2007 р.) до $1,24 \text{ мг/дм}^3$ (2012 р.). В 59,4 % проб води концентрація азоту аміаку була вищою гранично-допустимого рівня для водойм рибогосподарського призначення ($0,39 \text{ мг N/дм}^3$). За максимальними значеннями в усіх пробах води вміст амонійного азоту перевищував нормовані значення і змінювався у межах $0,40-1,74 \text{ мг/дм}^3$, що становить $1,03-4,46 \text{ ГДК}_{PF}$.

Азот нітритний ($N - NO_2^-$). У помітних концентраціях нітрити виявляються при дефіциті кисню у водоймі [15]. Концентрація азоту нітритного у річковій воді Когильника за середньорічними значеннями змінювалася, в основному, від $0,07 \text{ мг/дм}^3$ (2016 р.) до $0,41 \text{ мг/дм}^3$ (2014 р.). Виключення становить 2009 рік, коли середньорічне значення азоту нітритного становило $2,17 \text{ мг/дм}^3$. За максимальними значеннями в усіх досліджуваних пробах води вміст азоту нітритного змінювався у межах $0,05-0,29 \text{ мг/дм}^3$, що перевищує нормовані показники для водойм рибогосподарського призначення ($0,02 \text{ мг N/дм}^3$).

Азот нітратний ($N - NO_3^-$). Збільшення концентрації ($N - NO_3^-$) спостерігається у літній період під час масового відмирання фітопланк-

тону. Другим джерелом надходження нітратів у поверхневій воді являються атмосферні опади [15]. Дослідженням встановлено, що у 62,2 % проб річкової води Когильника вміст азота нітратного не перевищував граничнодопустимі величини для водойм рибогосподарського призначення ($9,0 \text{ мг N /дм}^3$). Майже половина проб води характеризується відсутністю нітратів. Аномально високі концентрації нітратів як за середньорічними ($37,8 \text{ мг N /дм}^3$ -4,2 ГДК), так і за максимальними значеннями ($52,8 \text{ мг N /дм}^3$ -5,9 ГДК) зафіксовано у 2009 році.

Концентрація мінерального фосфору ($P - PO_4^{3-}$) за середньорічними значеннями у воді Когильника змінювалася від $0,45 \text{ мг/дм}^3$ (2014 р.) до $1,40 \text{ мг/дм}^3$ (2007 р.) при середньоарифметичному значенні за період дослідження $0,84 \text{ мг/дм}^3$. За максимальними значеннями зазначений компонент змінювався від $0,76 \text{ мг/дм}^3$ (2006 р.) до $2,60 \text{ мг/дм}^3$ (2007 р.), а середньоарифметичне значення становило $1,29 \text{ мг/дм}^3$. Вміст фосфатів у водних об'єктах рибогосподарського призначення не нормується, що унеможливило оцінити придатність річкової води Когильника за вмістом фосфатів для риборозведення.

Вміст нафтопродуктів у річковій воді за середньорічними значеннями впродовж досліджуваного періоду змінювався у межах $0,01$ - $0,23 \text{ мг/дм}^3$, при цьому у більшості відібраних проб води вміст нафтопродуктів не перевищував граничнодопустимі концентрації для водойм рибогосподарського призначення ($0,05 \text{ мг/дм}^3$). За максимальними значеннями концентрація нафтопродуктів у річковій воді варіювала від $0,01 \text{ мг/дм}^3$ (2007 р.) до $0,71 \text{ мг/дм}^3$ (2012 р.).

Вміст синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР) за середньорічними значеннями у воді Когильника змінювався від $0,24 \text{ мг/дм}^3$ (2006, 2007 рр.) до $0,57 \text{ мг/дм}^3$ (2016 р.), тобто впродовж усього досліджуваного періоду вміст СПАР у річковій воді перевищував граничнодопустимі концентрації для водойм рибогосподарського призначення ($0,2 \text{ мг/дм}^3$). За максимальними значеннями вміст СПАР змінювався у межах $0,39$ - $1,24 \text{ мг/дм}^3$, що становить відповідно $1,9$ - $6,2 \text{ ГДК}_{\text{рр}}$. У поверхневих водах СПАР перебувають у розчиненому й сорбованому станах, а також у поверхневій плівці води водного об'єкта. У водойми СПАР потрапляють у значних кількостях із господарсько-побутовими й промисловими стічними водами [14; 15].

Вміст мікроелементів та важких металів. Аналіз результатів лабораторних досліджень показав, що впродовж усього досліджуваного періоду у поверхневих водах Когильника вміст Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} та Li^{2+} не виявлено. Вміст алюмінію зафіксовано лише в трьох пробах води 11.02.2012 р. ($0,02 \text{ мг/дм}^3$); 10.02.2013 р. ($0,01 \text{ мг/дм}^3$)

та 15.03.2013 р. (0,04 мг/дм³). Вміст заліза загального змінювався за середньорічними значеннями від 0 (55,5 % проб – 2008, 2009, 2011 рр.) до 0,3 мг/дм³ (2006, 2007, 2012 рр.) при цьому у 37,8 % проб вміст заліза був вищим за ГДК_{рг}.

Оцінювання відповідності показників якості води нормативним вимогам. Для оцінювання відповідності показників якості води р. Когильник нормативним вимогам в роботі використані нормативи якості води для водойм господарсько-побутової, рибогосподарської та питної категорії водокористування [16]-[18]. Аналіз осереднених середньорічних та максимальних (найгірших) гідрохімічних показників моніторингових спостережень за 2006-2016 рр. показав, що відхилення від норми (кратність перевищення ГДК) є за такими показниками (табл. 1).

Таблиця 1

Результати аналізу придатності води р. Когильник для різних видів водокористування за середньоарифметичними значеннями 2006-2016 рр.

| Показники якості річкової води | Вміст інгредієнтів у воді | | Кратність перевищення ГДК* гп | | Кратність перевищення ГДК** рг | | Кратність перевищення ГДК*** пв | |
|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------|--------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| | <i>C_{сер.}</i> | <i>C_{макс.}</i> | сер. | макс. | сер. | макс. | сер. | макс. |
| Мінералізація, мг/дм ³ | 3326,5 | 4037,5 | 3,3 | 4,0 | 3,3 | 4,0 | 3,3 | 4,0 |
| Сульфатні іони, мг/дм ³ | 1193,2 | 1637,4 | 2,4 | 3,3 | 11,9 | 16,4 | 3,4 | 4,7 |
| Хлоридні іони, мг/дм ³ | 514,4 | 670,4 | 1,5 | 1,9 | 1,7 | 2,2 | 2,1 | 2,7 |
| Іони магнію, мг/дм ³ | 148,5 | 180,6 | 3,0 | 3,6 | 3,7 | 4,5 | 1,9 | 2,3 |
| Іони натрію, мг/дм ³ | 660,5 | 850,8 | 3,3 | 4,3 | 5,5 | 7,1 | 3,3 | 4,3 |
| Азот амонію <i>m2N / дм³</i> | 0,47 | 0,92 | 0,3 | 0,6 | 1,2 | 2,4 | 0,9 | 1,8 |
| БСК ₅ , мг O ₂ / дм ³ | 9,2 | 20,0 | 3,1 | 6,7 | 3,1 | 6,7 | 2,3 | 5,0 |
| Кисень, мг O ₂ / дм ³ | 4,3 | 1,8 | 0,9 | 2,2 | 0,9 | 2,2 | 0,9 | 2,2 |

Примітки до таблиці:

ГДК гп, ГДК** рг, ГДК*** пв – гранично допустима концентрація для водойм господарсько-побутового, рибогосподарського та питного водокористування*

Аналіз табличного матеріалу свідчить про те, що у зв'язку з високим рівнем перевищення ГДК за показниками мінералізації, сульфат-іонів, іонів хлору, магнію, натрію, амонійного азоту, БСК₅, розчиненого кисню поверхневі води непридатні для господарсько-побутового, рибогосподарського та питного водокористування без попереднього покращення їхнього стану.

Комплексне оцінювання якості поверхневих вод на основі визначення коефіцієнтів забрудненості. Комплексне оцінювання якості поверхневих вод проводилось шляхом визначення коефіцієнтів забрудненості. Коефіцієнт забрудненості (КЗ) визначається за допомогою методики розрахунку коефіцієнта забрудненості [19]. Оскільки гідрохімічні спостереження проводились лише в одному контрольному створі р. Когильник, то використано дещо спрощену формулу визначення КЗ (1)

$$KZ = \sum_{i=10}^{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N_i} X_{in} \right), \quad (1)$$

де i – порядковий номер показника;

N_i – загальна кількість вимірювань i -го показника;

X_{in} – кратність перевищення ГДК в разі n -го вимірювання i -го показника.

Згідно до [19] екологічний стан води за рівнями забрудненості оцінюється як: незабруднена (чиста) вода (КЗ $\leq 1,0$); слабо забруднена (КЗ 1,01-2,50); помірно забруднена (КЗ 2,51-5,00); брудна (КЗ 5,01-10,0); дуже брудна (КЗ більше 10).

Протягом усього часу спостережень КЗ за середніми значеннями варіював в межах 4,27-8,34, тобто вода оцінювалась від «помірно забрудненої» до «брудної». За максимальними значеннями КЗ змінювався в межах 6,13-11,73, що дозволяє оцінити поверхневі води р. Когильник за рівнями забрудненості від «брудних» до «дуже брудних» (табл. 2).

Таблиця 2

*Розрахункові значення коефіцієнтів забрудненості води
р. Когильник за 2006-2016 рр.*

| Показники | Коефіцієнти забрудненості за роками досліджень | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| За середніми значеннями | 4,69 | 4,47 | 4,27 | 8,34 | 5,68 | 5,12 | 4,46 | 5,25 | 5,48 | 5,83 | 5,25 |
| За максимальними значеннями | 6,58 | 9,31 | 8,17 | 11,73 | 9,97 | 8,33 | 6,13 | 7,24 | 9,43 | 8,42 | 10,0 |

Висновки. Поверхневі води Когильника за критерієм мінералізації в основному характеризуються як солонуваті води-II, β – мезогалинні (в 2009 р., α – мезогалинні); за критеріями іонного складу були сульфатного класу, групи натрію, другого типу, індекс (S_{II}^{Na}). Величина мінералізації води в часі мала значні коливання і найвищою була в 2009 р. ($5689,0 \text{ мг/дм}^3$), а найменшою в 2007 та 2008 рр. ($2521,0 \text{ мг/дм}^3$).

Аналіз зміни сольового складу води р. Когильник за формулою Курлова дає змогу оцінити внесок кожного іону в % – еквівалентній формі, а саме, зміна іонів у воді за середньорічними значеннями відбувалась в межах: SO_4^{2-} (42-58 % – екв) > Cl^- (27-35 % – екв) > HCO_3^- (15-30 % – екв). Відповідно катіони змінювалися в межах: $Na^+ + K^+$ (46-62 % – екв) > Mg^{2+} (19-33 % – екв) > Ca^{2+} (13-20 % – екв).

У зв'язку з високим рівнем перевищення ГДК за показниками мінералізації, сульфат-іонів, іонів хлору, магнію, натрію, амонійного азоту, БСК₅, розчиненого кисню, поверхневі води непридатні для ведення екологічно-безпечного водокористування та зрошувального землеробства.

Результати комплексного оцінювання якості поверхневих вод на основі визначення коефіцієнтів забруднення засвідчують, що за рівнем забруднення поверхневі води за середньорічними значеннями оцінюються від «помірно забруднених» до «брудних», а за максимальними – від «брудних» до «дуже брудних».

Серед основних чинників, які негативно впливають на стан по-верхневих вод басейну р. Когильник, необхідно зазначити наступні:

- скиди стічних промислових, господарсько-побутових вод у поверхневі водойми басейну Когильника без належного очищення;
- недотримання водоохоронного режиму у прибережних смугах та зонах;
- порушення та руйнування берегових укріплень унаслідок поведених ситуацій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Осадчий В.І. Процеси формування хімічного складу поверхневих вод [Текст]: Монографія / В.І. Осадчий, Б.Й. Набиванець, П.М. Линник та ін. – К.: Ніка-Центр, 2013. – 240 с.*
2. *Яров Я.С. Оцінка якості води річок південної частини Одеської області у 2008 році / Я.С. Яров [Електронний ресурс] ОДЕКУ. – Одеса. 2008. Режим доступу: http://www.rusnauka.com/19_AND_2013/Geographia/6_142438.doc.htm*

3. Твардієвич Н.Ю. Просторово-часова динаміка гідрохімічних показників води малих річок Північно-Західного Причорномор'я [Електронний ресурс]. Н.Ю. Твардієвич, М.Є. Даус. / Матеріали міжн. наук. конф. молодих вчених 16-18 квітня 2014 р. Режим доступу: [khttp://docplayer.net/63765487](http://docplayer.net/63765487).
4. Географічна енциклопедія України [Електронний ресурс]. – У 3-х т. / Відп. ред. О.М. Маринич. – К.: Українська радянська енциклопедія, 1989. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.
5. Природа Одесской области. Ресурсы, их рациональное использование и охрана [Текст] / Под ред. Г.И. Швевса, Ю.А. Амброс. – Киев-Одесса: Вища школа. Головное изд-во, 1979. – 144 с.
6. Екологічний паспорт Одеської області / Департамент екології та природних ресурсів Одеської ОДА [Електронний ресурс] 2016. – 162 с. Режим доступу :http://old.menr.gov.ua/docs/protection1/od.Odeska_ekopasport_2015.pdf.
7. Фондові матеріали Департаменту екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації [Текст] / Результати гідрохімічних досліджень стану поверхневих вод Одеської області в 2006-2016 рр. – 16 с.
8. Порядок здійснення державного моніторингу вод [Текст]: Постанова Кабінету Міністрів України від 20.07.1998 р. № 815. – 19 с.
9. Єдине міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод. Нормативний документ [Текст] / Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 24.12.2001 р. № 485. – К., 2001. – 42 с.
10. Алёкин О.А. Основы гидрохимии [Текст] / О.А. Алёкин. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
11. Хільчевський В.К. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України [Електронний ресурс]: Наукове видання / В.К. Хільчевський, О.М. Гончар, М.Р. Забокрицька та ін. / За ред. В.К. Хільчевського та В.А. Сташук. – ТОВ НВП «Ніка-Центр». – К., 2013. – 256 с. Режим доступу: irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe?C21COM.
12. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод [Текст] / С.І. Сніжко. – К.: Ніка-Центр, 2001. – 264 с.
13. Осадчий В.І. Кисневий режим поверхневих вод України / [Текст] / В.І. Осадчий, Н.М. Осадча // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2007. – Вип. 256. – С 265-285.

14. Гідрохімічний довідник: Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу [Текст]: Наукове видання / В.І. Осадчий, Б.Й. Набиванець, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець. – К.: Ніка-Центр, 2008. – 656 с.
15. Сніжско С.І. Характеристика стану досліджень та вмісту біогенних речовин у воді річок України / [Електронний ресурс] С.І. Сніжско, К.А. Серета // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2001. – Т-2. – С 511-521. Режим доступу: <https://www.dropbox.com/s/mu15nyovvi8abvf/gid16.pdf?dl=0>.
16. Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов / [Электронный ресурс] – М., 1995. – Режим доступу: <http://refdb.ru/look/3488628.html>.
17. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения [Текст]: СанПиН № 4630-88. – М.: Минздрав СССР, 1988. – 69 с.
18. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСан-ПіН 2.2.4-171-10) [Електронний ресурс]. – ТОВ «ЛІГА ЗАКОН», 2007. – 2010. – Режим доступу: <http://bib.convdocs.org/v3911>.
19. Організація та здійснення спостережень за забрудненням поверхневих вод (в системі Мінекоресурсів). КНД 211.1.1.106-2003 [Текст]: Чинний від 1 жовтня 2003 р. – К.: Мінприроди, 2003. – 53 с.

Стаття надійшла до редакції 05.02.2018

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Водопостачання Одеської державної академії будівництва та архітектури
В.Й. Прогульний

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Гідротехнічного будівництва Одеської державної академії будівництва та архітектури
В.П. Слободянюк

УДК 556.532:502.7

**ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД
В ВЕРХІВ'І БАСЕЙНУ РІЧКИ КИРГИЖ-КИТАЙ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

А.П. Блажко

***Анотація.** У статті досліджено проблему забруднення поверхневих вод в верхів'ї басейну р. Киргиз-Китай в межах села Переяславец-Перший за 2007-2016 рр. Проведено екологічну оцінку якості поверхневих вод за показниками трьох блоків: блоку солевого складу, блоку трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників та блоку показників специфічних речовин токсичної дії. Виконано комплексне екологічне оцінювання якості поверхневих вод за середньорічними та максимальними показниками гідрохімічних інгредієнтів на основі розрахунків екологічних індексів якості води.*

***Ключові слова:** поверхневі води, екологічний індекс якості, ступінь чистоти води.*

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД
В ВЕРХОВЬЕ БАСЕЙНА РЕКИ КИРГИЖ-КИТАЙ ОДЕССКОЙ ОБЛАСТИ**

А.П. Блажко

***Аннотация.** В статье исследовано проблему загрязнения поверхностных вод в верховье бассейна р. Киргиз-Китай в границах села Переяславец-Первый за 2007-2016 гг. Проведено экологическую оценку качества поверхностных вод по показателям трех блоков: блока солевого состава, блока трофо-сапробических (эколого-санитарных) показателей и блока показателей специфических веществ токсического действия. Выполнено комплексное экологическое оценивание качества поверхностных вод по среднегодовым и максимальным показателям гидрхимических ингредиентов на основании расчетов экологических индексов качества воды.*

***Ключевые слова:** поверхностные воды, экологический индекс качества, степень чистоты воды.*

**ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF QUALITY OF SURFACE WATER
IN THE SUPREME OF THE BASIN OF THE KIRGIZ-CHINA RIVER
OF THE ODESSA REGION**

A.P. Blazhko

***Abstract.** In the article has been analyzed the problem of surface water pollution in the headwaters of the river Kyrgyz-Kytai water-collecting area in the village Pereyaslavetz `-Pershy`j in 2007-2016. An ecological assessment of the surface water quality was carried out on the indicators of three blocks: salt block unit, trophic-saprobiological block (ecological sanitary) indicators and a block of indicators of specific substances of toxic action.*

Complex ecological estimation of surface water quality was performed on average annual and maximum indicators of hydrochemical ingredients on the basis of calculations of integral environmental water quality indexes. According to the results of the analysis, it was found that the pollution of the Kyr-gyz-Kytai River near the village of Maloyaroslavec̑ -Pershy j occurs primarily due to anthropogenic factors that are determined by nutrients and organic substances entering into the untreated sewage waters of the communal services and enterprises of the wine and food industry, located in the Tvarditsa city of the Tarakly district of Moldova Republic. The estimated integral ecological index of river water quality for the average annual values of the indicators during the analyzed period was fluctuated in the frame of 4.85-5.77, which corresponds to the III-IV grades of quality, 5 to 6 categories of water quality, thus water was assessed as «satisfactory-bad» for quality and «polluted-dirty» by the degree of purity. Increasing anthropogenic pressure on the analyzed water reservoir leads to further pollution, which causes the continuation of eco-monitoring of water.

Keywords: surface water, ecological quality index, water purity level.

Вступ. Проблема щодо погіршення екологічної ситуації на українській території р. Киргиж-Китай, яка протікає через с. Малоярославець-Перший Тарутинського району Одеської області, існує з 2003 року. Пов'язано це з тим, що з боку молдавського міста Твардица Тараклійського району відбуваються періодичні скиди стічних вод в р. Киргиж-Китай з молдавських винзаводів та міської каналізації, яка взагалі не обладнана очисними спорудами. Аналіз якості річкової води, виконаний лабораторією Одеської гідрогеолого-меліоративної експедиції Одеського обласного управління водних ресурсів, неодноразово показував значне перевищення граничнодопустимих концентрацій по багатьом показникам якості води. Під час залпових скидів забруднюючих речовин річкова вода стає молочно-білого кольору з різким задушливим запахом, в результаті чого у жителів прилеглих територій спостерігається погіршення стану здоров'я, особливо у дітей [1].

З метою вирішення існуючої проблеми забруднення р. Киргиж-Китай було проведено низку двосторонніх міждержавних заходів. Питання щодо спільного використання і охорони прикордонних вод, було включено до порядку денного XIII-ї наради Уповноважених з реалізації Угоди між Кабінетом Міністрів України і Урядом Республіки Молдова, яка проходила в Одесі 8-9 червня 2010 року [2]. Згідно інформації Міністерства закордонних справ і європейської інтеграції Республіки Молдова незадовільний екологічний стан р. Киргиж-Китай обумовлений, головним чином, несанкційними скидами промислових стічних вод двох економічних агентів Вільної Економічної Зони м. Твардица, які всупереч численним приписам природоохоронних органів не займаються попереднім очищенням своїх технологічних скидів. Також було повідомлено, що в 2009 році, з метою забезпечення нормованої очистки стічних вод

м. Твардица, за рахунок коштів Національного екологічного фонду було виділено 267,17 тис. лей на розробку проекту «Капітальний ремонт насосно-очисної станції».

В черговий раз питання щодо погіршення екологічного стану в басейні р. Киргиж-Китай розглядалося на міжурядовій зустрічі, яка відбулася 6 жовтня 2017 року в Кишиневі. Українську делегацію очолював Прем'єр-міністр України В.Б. Гройсман. Згідно повідомлення Міністра екології і природних ресурсів України, члена української делегації О. Семераки, за результатами робочої поїздки найближчим часом буде створена відповідна двостороння Комісія щодо співробітництва у сфері охорони і сталого розвитку басейну р. Дністер та р. Киргиж-Китай, до якої увійдуть представники обох країн [3]. Питання «Про забруднення річки Киргиж-Китай» розглядалося на XV-му засіданні Уповноважених по реалізації Угоди між Кабінетом Міністрів України і Урядом Республіки Молдова, яке відбулося 25-26 квітня 2017 р. в смт Затока Білгород-Дністровського району [4]. Українською Стороною констатовано, що покращення екологічного стану р. Киргиж-Китай до теперішнього часу не відбулося, залпові викиди несанкційованих стічних вод продовжуються. З боку Молдовської Сторони поінформовано про проведення розчистки річкового русла на ділянці 2 км на території Молдови. Разом з тим, питання щодо реконструкції очисних споруд в м. Твардица залишається невирішеним.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Провівши огляд наукових публікацій за темою дослідження з'ясовано, що питання щодо екологічного стану басейну р. Киргиж-Китай вивчалися вченими кафедри гідроекології та водних досліджень Одеського державного екологічного університету (М.Є. Даус, Я.С. Яров) та Одеської гідрогеолого-меліоративної експедиції (О.Ю. Медведєв). Результати досліджень, які опубліковано в фахових виданнях [5], [6], вказують на погіршення гідроекологічної ситуації в басейні р. Киргиж-Китай. Тому виникає необхідність подальшого дослідження гідрохімічного стану поверхневих вод зазначеного водного об'єкта, що й обумовлює актуальність теми дослідження.

Мета дослідження, постановка задачі. Головна мета роботи – аналіз і узагальнення результатів гідрохімічної інформації отриману від суб'єктів екомоніторингу та екологічне оцінювання якості поверхневих вод в басейні р. Киргиж-Китай. Для досягнення мети дослідження необхідно було вирішити такі задачі: 1) групування і обробка вихідних даних; 2) визначення класів і категорій якості води за окремими показниками; 3) узагальнення оцінок якості води за окремими показниками (виражених в класах і категоріях) по окремих блоках з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води; 4) визначення об'єднаної оцінки якості води (з визначенням класів і категорій).

Об'єкт і методи дослідження. Об'єктом дослідження служать поверхневі води басейну р. Киргиж-Китай, яка бере початок на південних схилах Подільської височини поблизу м. Твардица в Тараклійському

районі Молдови [7]. Далі протікає в південному напрямку по території Тарутинського, Арцизького і Кілійського районів Одеської області, впадає в озеро Китай поблизу населеного пункту Старі Трояни. Водозбірна площа річки 687 км², середньорічний стік становить 6,205 млн. м³, а в маловодний 75 % та 95 % забезпеченості – 1,489 і 0,186 млн. м³ відповідно. Заплава річки на окремих ділянках заболочена, шириною до 300-500 м. Згідно фізико-географічному районуванню Одеської області басейн досліджуваного водного об'єкта відноситься до Когильницько-Саратовського району, розташованого в південно-західній частині Одеської області [8]. Ліві прийоки – Ярославець і Киргиж; праві – Ісерлія і Пержейська. Стік зарегульований ставками, річка протягом року часто пересихає.

Досліджувана територія характеризується посушливим кліматом. Опади (400-450 мм/рік) носять здебільшого зливовий характер, що обумовлює бурний стік поверхневих вод та сприяє розвитку ерозійних форм рельєфу і площинної ерозії. Серед ґрунтів вододілів переважають чорноземи звичайні малогумусні. Природна степова рослинність на вододілі замінена культурною. Ґрунтові води знаходяться глибоко, що й обумовлює низький річковий стік.

В роботі використані результати гідрохімічних досліджень поверхневих вод в басейні р. Киргиж-Китай на контрольному гідрохімічному посту біля с. Малоярославець-Перший Тарутинського району Одеської області за період 2007-2016 рр., джерело вихідної інформації – фондові матеріали Департаменту екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації та Одеської гідрогеолого-меліоративної експедиції (ОГГМЕ) Одеського обласного управління водних ресурсів [9]. Атестованою лабораторією гідроекологічного моніторингу ОГГМЕ визначалися такі гідрохімічні показники: рівень рН, лужність, твердість, вміст гідрокарбонатів, сульфатів, хлоридів, кальцію, магнію, натрію, калію, загальна мінералізація, завислі речовини, іони амонію, вміст нітратів, нітритів, фосфатів, БСК₅, концентрація мікроелементів та важких металів, концентрація специфічних речовин токсичної дії та ін. Проби води відбирались щоквартально згідно до вимог нормативного документу «Єдине міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод» [10].

Результати досліджень. Перед тим, як виконати екологічне оцінювання якості поверхневих вод р. Киргиж-Китай, слід охарактеризувати досліджуваний водний об'єкт за критеріями мінералізації та іонного складу. Згідно до [11] як за осередненими середньорічними, так і максимальними значеннями гідрохімічних показників 2007-2016 рр. поверхневі води р. Киргиж-Китай за критерієм мінералізації солонуваті води-II, β – мезогалінні; за критеріями іонного складу – сульфатного класу, групи натрію, другого типу, індекс (S_{II}^{Na}).

Екологічне оцінювання якості річкової води проводилось згідно з «Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [11]. Вихідні дані з якості води за окремими показниками групувалися в межах трьох блоків. Згруповані по блоках показники якості води, вихідні дані піддавалися певній обробці: обчислювались середньорічні та середньоарифметичні (за період дослідження) значення, визначались мінімальні та максимальні (найгірші) значення.

Етап визначення класів і категорій якості води для окремих показників полягає у виконанні таких дій: середньоарифметичні (середні) та максимальні (найгірші) значення для кожного показника окремо зіставляються з відповідними критеріями якості води, представленими в [11]; на основі зіставлення середньоарифметичних і максимальних значень для кожного показника окремо визначаються категорії якості води в межах відповідних блоків. Етап узагальнення оцінок якості води за окремими показниками полягає у визначенні середніх і максимальних значень для трьох блокових індексів якості води, а саме: для індексу забруднення компонентами сольового складу (I_1), для трофо-сапробіологічного індексу (I_2), для індексу специфічних речовин токсичної дії (I_3). Таким чином, повинно бути визначено шість блокових індексів, а саме: $I_{1Сер.}; I_{2Сер.}; I_{3Сер.}; I_{1Макс.}; I_{2Макс.}; I_{3Макс.}$. Маючи значення блокових індексів якості води, легко визначити їх приналежність до певного класу та категорії якості води за допомогою системи екологічної класифікації, наведеної в [12]. Етап визначення об'єднаної оцінки якості води полягає в обчисленні інтегрального, або екологічного індексу (I_E). Значення екологічного індексу якості води визначається за формулою

$$I_E = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}, \quad (1)$$

де I_1 – індекс забруднення компонентами сольового складу;
 I_2 – індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників;
 I_3 – індекс специфічних речовин токсичної дії.

Екологічний індекс якості води, як і блокові індекси, обчислюють для середніх і найгірших значень категорій окремо: $I_{EСер.}$ та $I_{EМакс.}$ [12].

За результатами розрахунків індексів якості поверхневих вод басейну р. Киргиж-Китай встановлено наступне. За середньорічними значеннями гідрохімічних показників сольового блоку індекс якості води $I_{1Сер.}$ змінювався в досліджуваному періоді від 4,33 до 5,00 (рис. 1а).

Це означає, що вода належала до III класу якості («задовільні», «забрудненні» води), категорії 4-5 («посередні», «помірно забрудненні» води). Серед показників сольового блоку найбільше забруднення спостерігалось за рахунок сульфатів, вміст яких змінювався в межах 1240,9-1917,8 мг/дм³ (7 категорія якості). Показники мінералізації змінювалися

від 2955,0 мг/дм³ до 3819,1 мг/дм³ (4-6 категорії якості відповідно). Вміст хлоридів впродовж усього досліджуваного періоду варіював від 230,4 мг/дм³ до 296,0 мг/дм³ (2 категорія якості).

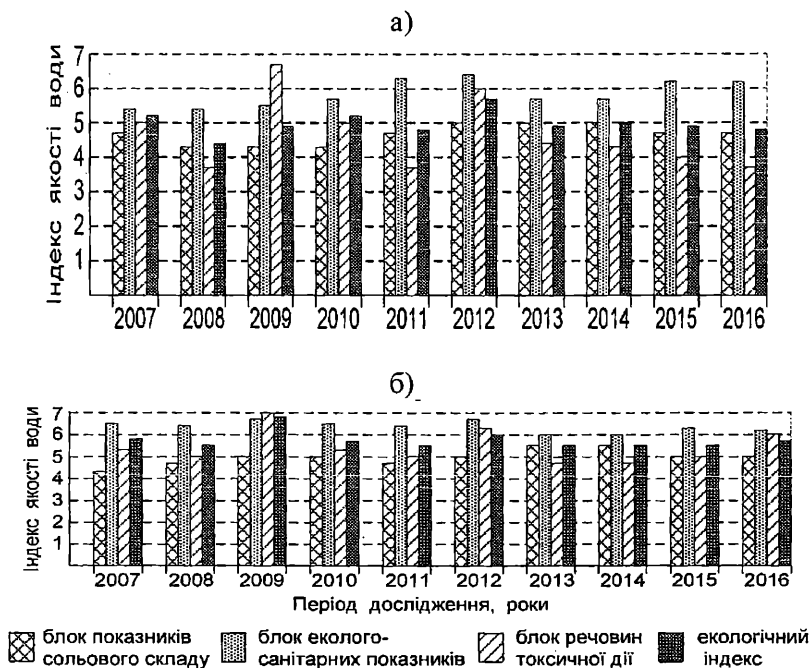


Рис. 1. Динаміка зміни блокових та екологічних індексів якості води р. Киргизж-Китай за 2007-2016 рр.: а – за середньорічними значеннями; б – за максимальними значеннями

За максимальними значеннями показників сольового блоку індекс якості ($I_{1,макс.}$) варіював в межах 4,67-5,10 (рис. 16), тобто вода відносились до III класу, категорії 4-5 («посередні», «помірно забрудненні» води). Мінералізація води змінювалася від 3448,1 мг/дм³ (2010 р.) до 4074,0 мг/дм³ (2013, 2014 рр.), що відповідає 5-7 категорії якості. Концентрація сульфат-іонів змінювалася від 1527,3 мг/дм³ (2007 р.) до 2199,8 мг/дм³ (2013, 2014 рр.), що відповідає 7 категорії якості води. Вміст хлоридів змінювався від 265,6 мг/дм³ (2011 р.) до 319,1 мг/дм³ (2013-2016 рр.), – 2 категорія якості води.

До трофо-сапробіологічних показників відносяться: завислі речовини, величина рН, уміст кисню і насичення ним води, концентрація $N - NH_4^+$, $N - NO_2^-$, $N - NO_3^-$, $P - PO_4^{3-}$, перманганатна і біхроматна окиснюваність, біохімічне споживання кисню протягом п'яти діб, хімічне споживання кисню. Розрахунками встановлено, що індекси якості води

р. Киргиз-Китай за середньорічними значеннями показників трофо-сапробіологічного (еколого-санітарного) блоку ($I_{2Cep.}$) в досліджуваному періоді змінювалися в межах 5,40-6,30 (рис. 1а). Згідно до [12] води відповідають III-IV класу якості, «задовільні» за якістю та «забрудненні» за ступенем чистоти, за трофністю «евтрофні-політрофні», за сапробністю – від « β -мезосапробних» до « α -мезосапробних». За максимальними значеннями показників індекс якості ($I_{2max.}$) змінювався від 6,00 (2014, 2015 рр.) до 6,80 (2014 р.), що відповідає IV та V класу, 6-7 категорії якості, «погані»-«дуже погані» води за якістю, «брудні»-«дуже брудні» за ступенем чистоти. Характеристика основних забруднювачів еколого-санітарного блоку показників свідчить про наступне.

Уміст завислих речовин у воді змінювався за середніми значеннями від 54,7 мг/дм³ (2015 р.) до 202,8 мг/дм³ (2013 р.). У 70 % проб води вміст завислих речовин був вищим граничного рівня 7 категорії якості (> 100 мг/дм³), тобто «дуже брудні» води. За максимальними значеннями уміст завислих речовин коливався від 135,0 мг/дм³ до 396,0 мг/дм³, що в 1,4 та 4,0 рази перевищує граничні значення 7 категорії якості, «дуже погані», «дуже брудні» води.

За величиною рН визначається реакція водного середовища. За цим показником поверхневі води відносилися, в основному, до слабо лужних, показник рН змінювався від 7,2 до 8,2 од. Граничнодопустима величина рН для всіх видів водокористування складає 6,5-8,5 од. [13]-[15].

Уміст розчиненого кисню у воді змінювався за середньорічними значеннями від 0,1 мг O₂/дм³ (2015 р.) до 5,0 мг O₂/дм³ (2007 р.), тобто проби води мали уміст O₂ нижчий за граничнодопустимі концентрації для водойм рибогосподарського призначення (< 6 мг O₂/дм³), а біля 50 % проб – нижчий за граничну межу 7 категорії якості (< 4 мг O₂/дм³). За найгіршими значеннями вміст розчиненого кисню у річковій воді змінювався в межах 0-0,5 мг O₂/дм³ (7 категорія якості).

Уміст азоту амонійного ($N - NH_4^+$) у річковій воді змінювався від 0,30 мг N/дм³ (2013, 2014 рр.) до 3,5 мг N/дм³ (2009 р.). При цьому, в 79,4 % проб води концентрація азоту аміаку була вищою граничнодопустимого рівня для водойм рибогосподарського призначення (0,39 мг N/дм³). За максимальними значеннями в усіх пробах води вміст амонійного азоту перевищував нормовані значення і змінювався від 0,60 мг/дм³ (2008, 2011 рр.) до 19,5 мг/дм³ (2009 р.), що становить 1,5-50,0 ГДК_{рГ}.

Концентрація азоту нітритного ($N - NO_2^-$) за середніми значеннями змінювалася від 0 (2016 р.) до 0,47 мг $N / \text{дм}^3$ (2008 р.). У 70 % середньорічних проб води уміст нітритного азоту перевищував граничну межу 7 категорії якості (0,1 мг $N / \text{дм}^3$). За максимальними значеннями зазначений інгредієнт змінювався в межах 0,1-1,4 мг $N / \text{дм}^3$ (7 категорія якості).

Концентрація азоту нітратного ($N - NO_3^-$) за середньорічними значеннями варіювала від 0,16 мг $N / \text{дм}^3$ (2016 р.) до 11,5 мг $N / \text{дм}^3$ (2013, 2014 рр.). При цьому, концентрація нітратів у річковій воді вищих за ГДК_{рр} (9 мг $N / \text{дм}^3$) зафіксована у 30 % проб, вищих за граничну межу 3 категорії екологічної оцінки ($> 0,5$ мг $N / \text{дм}^3$) – в 82 % проб, вищих за граничну межу 7 категорії екологічної оцінки ($> 2,5$ мг $N / \text{дм}^3$) – 56 % проб. За максимальними значеннями показників уміст нітратів змінювався від 0,6 мг $N / \text{дм}^3$ (2016 р.) до 24,0 мг $N / \text{дм}^3$ (2011, 2013, 2014 рр.), у 90 % проб концентрація нітратів перевищувала граничну межу 7 категорії екологічної якості. Таким чином, за рівнем забруднення нітратами поверхневі води р. Киргиж-Китай непридатні для рибогосподарського та господарсько-побутового використання.

Концентрація фосфору фосфатів ($P - PO_4^{3-}$) за середньорічними значеннями змінювалася в межах 0,02-11,5 мг $P / \text{дм}^3$. Уміст фосфатів у водних об'єктах рибогосподарського призначення не нормується, але близько 80 % проб води мали вміст фосфатів вищий за граничну межу 7 категорії якості (0,3 мг $P / \text{дм}^3$).

Показник хімічного споживання кисню (ХСК) у річковій воді за осередненими значеннями змінювався від 42,3 мг $O / \text{дм}^3$ (2013, 2014 рр.) до 187,0 мг $O / \text{дм}^3$ (2009 р.), що є вищим за граничнодопустимі концентрації для водойм рибогосподарського призначення та господарсько-побутового використання (15,0 мг $O / \text{дм}^3$). При цьому, у 60 % проб води показник ХСК перевищував граничну межу 7 категорії екологічної якості (> 60 мг $O / \text{дм}^3$). За найгіршими значеннями зазначений показник змінювався від 82,0 мг $O / \text{дм}^3$ (2012 р.) до 355,3 мг $O / \text{дм}^3$ (2009 р.), тобто впродовж усього досліджуваного періоду показник ХСК перевищував граничну межу 7 категорії якості води.

Показник біологічного споживання кисню протягом п'яти діб (BCK_5) за середньорічними значеннями змінювався від 8,0 мг $O_2 / \text{дм}^3$ (2007 р.) до 135,0 мг $O_2 / \text{дм}^3$ (2009 р.), що перевищує граничнодопустимі концентрації для водойм рибогосподарського, господарсько-побутового та питного призначення [13]-[15]. У 70 % проб води показник BCK_5

перевищував граничну межу 7 категорії екологічної оцінки якості ($> 12,0 \text{ мг О}_2 / \text{дм}^3$). За максимальними значеннями показник БСК_5 змінювався в межах $20,0\text{-}280,0 \text{ мг О}_2 / \text{дм}^3$.

Індекси блоку речовин токсичної дії ($I_{3\text{ср.}}$) за середньорічними показниками змінювалися, в основному, від 3,67 (2008, 2011, 2016 рр.) до 5,00 (2007 р.), що відповідає III класу, 4-5 категоріям якості води, «задовільні», «слабко забруднені» води. Крім цього, дослідженням зафіксовано два максимуми: 6,60 (2009 р.) та 6,00 (2012 р.), що відповідає IV та V класам, 6-7 категоріям якості води, «погані», «брудні» води. За найгіршими значеннями показників розрахункові індекси ($I_{3\text{макс.}}$) змінювалися, в основному, в межах 4,67-5,33 (III клас, 5 категорія якості), «задовільні», «помірно забруднені» води. В 2012 та 2009 рр. екологічні індекси становили 6,33 і 7,00 відповідно, що відповідає IV та V класу, 6-7 категорії якості, «погані-дуже погані» води за якістю й «брудні-дуже брудні» за ступенем чистоти.

До блоку специфічних речовин токсичної дії, які контролюються ОГГМЕ, відносяться: залізо загальне, нафтопродукти, СПАР, мідь, алюміній, марганець, нікель та хром. За результатами екомоніторингу у воді р. Киргиж-Китай виявлено лише залізо загальне, нафтопродукти та СПАР (рис. 2).



Рис. 2. Категорії якості води р. Киргиж-Китай за показниками блоку речовин токсичної дії:

а – за середньорічними значеннями; б – за максимальними значеннями

Аналіз графічного матеріалу дозволяє стверджувати, що вміст загального заліза у воді р. Киргиж-Китай змінювався за середньорічними показниками, в основному, від $120,0 \text{ мкг/дм}^3$ (2010 р.) до $420,0 \text{ мкг/дм}^3$ (2009 р.), що відповідає 4 категорії якості води (рис. 2а). Виключення становили 2008 р. та 2011 р., коли концентрація заліза була $30,0 \text{ мкг/дм}^3$ та

60,0 мкг/дм³ (1 й 2 категорії якості води відповідно). Концентрацію заліза, вищу за ГДК_{рґ} (0,1 мг/дм³) – мали 85 % проаналізованих проб, вищу за ГДК_{гп} (0,3 мг/дм³) – 40 %, а вищу за ГДК_{пв} (0,2 мг/дм³) – 60 % проб. За максимальними значеннями уміст заліза у воді змінювався, в основному, у межах 110,0-760,0 мкг/дм³ (4-5 категорії якості). Дуже високий рівень забруднення річкової води іонами заліза зафіксовано 22.10.2009 р. (1710,0 мкг/дм³), що відповідає 7 категорії якості води (рис. 2б). Така концентрація заліза у воді в 17,1 раза перевищує ГДК_{рґ} (100 мкг/дм³) і в 5,7 раза – ГДК_{гп} та ГДК_{пв} (300 мкг/дм³).

Уміст нафтопродуктів у воді р. Киргиж-Китай за середньорічними значеннями змінювався, в основному, від 20,0 мкг/дм³ (2013, 2014 рр.) до 80,0 мкг/дм³ (2016 р.). Високий середньорічний вміст нафтопродуктів у воді встановлено в 2009 р. (940,1 мкг/дм³) та в 2012 р. (330,0 мкг/дм³), що перевищує граничну межу 7 категорії екологічної якості (рис. 2а). За максимальними значеннями уміст нафтопродуктів впродовж досліджуваного періоду змінювався в межах 60,0–140,3 мкг/дм³ (4-5 категорії якості). Високі рівні забруднення нафтопродуктами зафіксовано: 18.06.2009 р. (459,1 мкг/дм³), 14.05.2012 р. (900,0 мкг/дм³), 10.02.2016 р. (211,0 мкг/дм³), що відповідає 6-7 категоріям екологічної якості води (рис. 2б).

Уміст синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР) у поверхневих водах р. Киргиж-Китай за середньорічними значеннями змінювався в межах 260,0-740,1 мкг/дм³, що перевищує граничну межу 7 категорії якості води (250 мкг/дм³), а також ГДК_{рґ} (200,0 мкг/дм³). За максимальними значеннями уміст СПАР у воді змінювався в межах 410,0-550,0 мкг/дм³, що відповідає 7 категорії екологічної якості (рис. 2б). Крім того, дослідженням встановлено антропогенні викиди, які супроводжувалися дуже високими концентраціями СПАР в річковій воді, а саме: 15.11.2007 р. (791,0 мкг/дм³), 15.11.2011 р. (650,0 мкг/дм³), 19.02.2015 р. (983,0 мкг/дм³).

Висновки. Результати досліджень екологічного стану поверхневих вод в верхів'ї басейну р. Киргиж-Китай за 2007-2016 рр. свідчать про наступне.

1. Поверхневі води р. Киргиж-Китай солонуваті з високим вмістом сульфатів, які в декілька разів перевищують граничнодопустимі концентрації. Середня мінералізація води за період з 2007 по 2016 рр. перевищувала норму у 3-5 рази.

2. Візуальні зміни якості річкової води на кордоні з Республікою Молдова, підтвержені лабораторними дослідженнями ОГГМС, дають можливість стверджувати про залпові несанкційовані скиди комунальних

стоків та підприємств різних галузей промисловості, які відбувалися в квітні 2007 р., травні-червні й жовтні-листопаді 2009 р., листопаді 2011 р., січні 2012 р., вересні 2014 р., березні 2015 р. та лютому 2016 р.

3. Забрудненість р. Киргиж-Китай біля с. Малоярославець-Перший пояснюється в першу чергу за рахунок антропогенних факторів, які визначаються біогенними елементами та органічними речовинами, що поступають у складі неочищених стічних вод комунального господарства та підприємств виноробної й харчової промисловості, які розташовані в м. Твардица Тараклійського району Республіки Молдова. Зростаючий антропогенний тиск на цю водойму призводить до подальшого її забруднення.

4. Інтегральний екологічний індекс якості води за середньорічними значеннями показників ($I_{Есер.}$) коливався в межах 4,85-5,77, що відповідає III-IV класам якості, 5-6 категоріям якості води, тобто води «задовільні-погані» за якістю та «забруднені-брудні» за ступенем чистоти. За максимальними значеннями показників інтегральний екологічний індекс якості ($I_{Емакс.}$) змінювався в межах 5,61-6,93, тобто води відповідали IV та V класу якості, 6-7 категорії, «погані-дуже погані» води за якістю та «брудні-дуже брудні» за ступенем чистоти.

5. Рибогосподарському використанню не відповідають такі показники води: сполуки азоту, фосфати, сульфати, завислі речовини, розчинений кисень, СПАР, нафтопродукти.

6. За показниками ХСК, БСК₅, загальної мінералізації, заліза загального, нафтопродуктів, розчиненого кисню поверхневі води досліджуваного водного об'єкту не відповідають господарсько-побутовому водокористуванню.

7. До першочергових заходів, направлених на поліпшення екологічного стану в верхів'ї р. Киргиж-Китай, слід віднести будівництво біологічних очисних споруд на каналізаційній мережі м. Твардица Тараклійського району Республіки Молдова та не допускати несанкціоновані технологічні скиди стічних вод підприємств виноробної і харчової промисловості безпосередньо в річку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Депутатський запит народного депутата України Кіссе А.І. від 25 січня 2016 р. № ДЗ/1 міністру закордонних справ України Клімкіну П.А. і т.в.о. Голови Державного агентства водних ресурсів України Овчаренко І.І. «Щодо несанкціонованого скидання забруднюючих речовин у річку Киргиж-Китай (басейн річки Дунай) з боку підприємств Республіки Молдова [Електронний ресурс] Режим доступу: w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/wcadr_document?...ID...

2. *Протокол XIII-го совещания Уполномоченных по реализации Соглашения между Кабинетом Министров Украины и Правительством Республики Молдова о совместном использовании и охране пограничных вод [Электронный ресурс] / Одесса 8-9 июня 2010 г. 18 с. – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/search?q>.*
3. *Остан Семерак: «Україна та Молдова створюють спільну комісію щодо співробітництва у сфері охорони і сталого розвитку басейну р. Дністер» / [Електронний ресурс] 6 жовтня 2017 р. Режим доступу: <https://www.facebook.com/os.semerak/posts/1604601156226709>.*
4. *Протокол XV совещания Уполномоченных по реализации Соглашения между Кабинетом Министров Украины и Правительством Республики Молдова о совместном использовании и охране пограничных вод [Электронный ресурс] / нгт Затока, Белгород-Днестровский район 25-26 апреля 2017 г. Режим доступу: oggme.od.ua/oggme/6_news_files/2017/Foto/14/26.04.2017.doc.*
5. *Лужанська Д.В. Науковий керівник – Даус М.Є. Оцінка екологічного стану і придатності для риборозведення деяких малих річок Північно-Західного Причорномор'я / Д.В. Лужанська [Електронний ресурс] Зб. статей за матеріалами студентської наукової конференції ОДЕКУ 6-10 квітня 2015 р. – С. 87-92. – Режим доступу: <http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/B-Zbirnik-statej-konferentsiyi1.pdf>.*
6. *Медведев О.Ю. Міждержавний моніторинг у басейні р. Дунай і Причорноморських річок О.Ю. Медведев [Електронний ресурс] Одеська гідрогеолого-меліоративна експедиція, Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія // Період. наук. зб. – Т. 11. – К. : ВГЛ «Обрії», 2006. – С. 357-361. Режим доступу: <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/handle/123456789/3884/Тези%202017%20>.*
7. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озёр и расчёты основных характеристик их режима [Текст]. – Т. 6. Украина и Молдавия. – Вып. 1. Западная Украина и Молдавия (без бассейна р. Днестр). – Л., Гидрометеиздат, 1978. – С 112-114.*
8. *Природа Одесской области. Ресурсы, их рациональное использование и охрана [Текст] / Под ред. Г.И. Швевса, Ю.А. Амброз. – Киев-Одесса: Вища школа. Главное изд-во, 1979. – 144 с.*
9. *Фондові матеріали Департаменту екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації / Результати гідрохімічних досліджень стану поверхневих вод в водних об'єктах Одеської області в 2007-2016 рр. – 14 с.*

10. *Нормативний документ / Єдине міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод: – К.: Мінекоресурсів України, 2001. – 40 с.*
11. *Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксуюк та ін. – К.: Символ-Т, 1999. – 28 с.*
12. *Досвід використання «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» / А.В. Яцик, В.М. Жукинський, А.П. Чернявська, І.С. Єзловецька. – К.: Оріяни; 2006. – 44 с.*
13. *Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов / [Электронный ресурс] –М., 1995. – Режим доступа: <http://refdb.ru/look/3488628.html>.*
14. *Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. [Текст]: СанПиН № 4630-88. – М.: Минздрав СССР, 1988. – 69 с.*
15. *Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСан-ПіН 2.2.4-171-10). [Електронний ресурс] –ТОВ «ЛІГА ЗАКОН», 2007-2010. – Режим доступу: <http://bib.convdocs.org/v3911>.*

Стаття надійшла до редакції 15.01.2018

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Водопостачання та водовідведення» Одеської державної академії будівництва та архітектури **В.Й. Прогульний**

кандидат технічних наук, доцент, директор інституту «Гідротехнічного будівництва та цивільної інженерії» Одеської державної академії будівництва та архітектури **В.Ф. Ісаєв**

УДК 004:001

**ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ З ВИКОРИСТАННЯМ
КОМПЛЕКСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ**

Т.Д. Панченко, В.І. Стародуб, І.А. Тузова, В.В. Челабчі, В.М. Челабчі

Анотація. У статті описаний універсальний алгоритм проведення обчислювального експерименту. Використовуються комплексні інформаційні моделі. Комплексна інформаційна модель розглядається як сукупність математичної моделі об'єкта (з умовами однозначності), алгоритму та програм розрахунків і баз даних що містять необхідну інформацію про властивості робочих речовин і основні характеристики об'єкта. Проведено тестування запропонованих алгоритмів і методів. При тестуванні проводилося порівняння результатів натурного і обчислювального експериментів для ряду реальних об'єктів.

Ключові слова: обчислювальний експеримент, алгоритм, інформаційна модель.

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КОМПЛЕКСНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ**

Т.Д. Панченко, В.И. Стародуб, И.А. Тузова, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи

Аннотация. В статье описан универсальный алгоритм проведения вычислительного эксперимента. Используются комплексные информационные модели.

Комплексная информационная модель рассматривается как совокупность математической модели объекта (с условиями однозначности), алгоритма и программ расчетов и базы, данных содержащих необходимую информацию о свойствах рабочих веществ и основные характеристики объекта. Проведено для ряда реальных объектов тестирование предлагаемых алгоритмов и методов. При тестировании проводилось сравнение результатов натурного и вычислительного экспериментов.

Ключевые слова: вычислительный эксперимент, алгоритм, информационная модель.

**EXCEPTIONAL EXPERIMENT
TO VICERANS COMPREHENSIVE INFORMATIVE MODELS**

T.D. Panchenko, V.I. Starodub, I.A. Tuzova, V.V. Chelabchi, V.N. Chelabchi

The article describes a universal algorithm for carrying out a computational experiment. Complex information models are used. The complex information model is considered as the aggregate of the mathematical model of the object (with the uniqueness conditions), the algorithm and the calculation programs and the database. The database containing the necessary information on the properties of the working substances and the main characteristics of the object.

The proposed algorithms and methods are tested. During testing, the results of field and computational experiments were compared for a number of real objects. The estimation of the reliability of the information obtained from the results of the computational experiment is carried out.

Keywords: *computational experiment, algorithm, information model.*

Вступ. Світове співтовариство прагне до неухильного підвищення ефективності й мінімізації витрат енергії й ресурсів у діючих і проєктованих установках і системах. Для досягнення застережених цілей потрібні надійні методи й засоби прогнозування функціонування систем в різних умовах. Як правило, натурний експеримент вимагає значних матеріальних і фінансових витрат, а часто практично неможливий. Фізичне моделювання не завжди дозволяє одержати достовірну інформацію про процеси в достатньому обсязі.

Обчислювальний (комп'ютерний) експеримент дозволяє провести дослідження швидше й дешевше [1]-[5]. Особливо важливо забезпечити достатню вірогідність одержуваних в експерименті результатів при мінімізації витрат.

Вірогідність інформації, яку отримано в обчислювальному експерименті, в першу чергу залежить від того наскільки докладно й адекватно використовувані математичні моделі описують процеси в системі. Моделі найчастіше формуються на основі феноменологічного підходу. Однак коли дослідженню підлягають уже існуючі системи, що перебувають в експлуатації, використовуються методи ідентифікації на основі обробки експериментальних даних.

В багатьох об'єктах протікають взаємозв'язані процеси різної фізичної природи, що призводить до складної і громіздкої математичної моделі (система рівнянь різного типу). Для вирішення окремих рівнянь успішно використовуються сучасні методи чисельного рішення. Проте спільне рішення усієї системи рівнянь математичної моделі об'єкту представляє певні труднощі.

Тому перспективним видається шлях використання комбінованого підходу. В цьому випадку результати моделювання процесів в окремих елементах об'єкту узагальнюються з використанням сучасних інформаційних технологій. По суті справи створюється, тим або іншим способом, комплексна інформаційна модель кожного елемента об'єкту. Згідно до [6] інформаційна модель – модель об'єкту, представлена у вигляді інформації, що описує істотні для цього розгляду параметри і змінні величини об'єкту, зв'язки між ними, входи і виходи об'єкту і що дозволяє шляхом подання на модель інформації про зміни вхідних величин моделювати можливі стани об'єкту.

У статті комплексна інформаційна модель розглядається як сукупність математичної моделі об'єкту (з умовами однозначності), алгоритму та програм розрахунків і бази даних, що містить необхідну інформацію про властивості робочих речовин і основні характеристики об'єкту.

Моделювання процесів в системі проводиться чисельними методами з використанням отриманих раніше комплексних інформаційних моделей елементів.

Постановка задачі. Актуальність роботи у цьому напрямі обумовлена необхідністю розробки універсального підходу до методичного та інформаційного забезпечення і алгоритму проведення обчислювального експерименту.

Особливо важливий подібний універсальний підхід для прогнозування режимів роботи складних систем при оптимізації конструкції і режимів їх роботи. В багатьох об'єктах протікають взаємозв'язані процеси різної фізичної природи, що призводить до складної і громіздкої математичної моделі (система рівнянь різного типу). Для вирішення окремих рівнянь успішно використовуються сучасні методи чисельного рішення. Проте спільне рішення усієї системи рівнянь математичної моделі об'єкту представляє певні труднощі. Виникає необхідність в ефективному управлінні обчислювальним експериментом [7].

Тому перспективним видається шлях використання комбінованого підходу. В цьому випадку результати моделювання процесів в окремих елементах об'єкту узагальнюються з використанням сучасних інформаційних технологій. При проектуванні нових і вдосконаленні діючих систем створюється комплексна інформаційна модель системи, що включає комплексні інформаційні моделі її елементів.

Аналіз основних публікацій з проблеми. Складність існуючих і проєктованих систем вимагає їх декомпозиції при моделюванні їх функціонування. Декомпозиція дозволяє розглядати будь-яку досліджувану систему як складну, що складається з окремих взаємопов'язаних підсистем (об'єктів), які, в свою чергу, також можуть бути розчленовані на частини [8]-[10]. Декомпозиція досліджуваних об'єктів здійснюється індивідуально відповідно до конструктивної особливості об'єкта та задач дослідження.

При розробці комплексних інформаційних моделей необхідно вирішити два важливих завдання:

- вибір математичної моделі об'єкта;
- розробка ефективних чисельних методів.

Звичайно математичні моделі найчастіше формуються на основі феноменологічного підходу [11]-[13].

Однак, коли дослідженню підлягають уже існуючі системи, що перебувають в експлуатації, використовуються методи ідентифікації на основі обробки експериментальних даних. Найчастіше вид рівняння моделі заздалегідь відомий і потрібно провести параметричну ідентифікацію з метою визначення значень коефіцієнтів рівняння [14]-[15]. У роботах [16]-[18] розглядалася ідентифікація моделей динаміки систем. Використовувався метод найменших квадратів з апроксимацією на ковзних відрізках. Для підвищення достовірності результатів ідентифікації застосовується згладжування експериментальних даних, які представлені

часовими рядами [19]-[20]. В [21] описаний метод ідентифікації транспортних властивостей капілярно-пористих матеріалів.

Не менш важливою представляється розробка ефективних чисельних методів для імітації процесів у системах. Використовувані чисельні методи повинні мати абсолютну стійкість або, у всякому разі, стійкість в максимально широкому діапазоні параметрів моделі. Необхідно також забезпечувати максимально низьку методичну погрішність чисельного методу.

Різницеві методи вирішення подібних рівнянь і їх систем [22]-[23] мають ряд недоліків. Часто використовувані різницеві методи мають нестійкість при деяких значеннях коефіцієнтів рівнянь і кроків по осі незалежної змінної. Серед різницевих найбільш ефективним є аналітико-сітковий метод [23]. Універсальним і орієнтованим на рішення лінійних та нелінійних звичайних диференціальних рівнянь будь-якого порядку є метод проєкційно-сіткового рішення [24]-[25].

Формування комплексної інформаційної моделі елементу системи. Декомпозиція досліджуваних об'єктів здійснюється індивідуально відповідно до конструктивної особливості об'єкта та задач дослідження. Алгоритм формування комплексної інформаційної моделі елементу системи представлено на рис. 1.

Вибір типу математичної моделі проводиться з урахуванням основних процесів, тих, що протікають в елементі об'єкту, і базується на феноменологічному підході. Вплив супутніх (не основних) процесів враховується залежністю коефіцієнтів рівнянь, що описують основні процеси від величин тих, що характеризують стан об'єкту.

При цьому проводиться оцінка необхідної достатності при виборі рівнянь математичної моделі і розщеплення задачі на підзадачі [26]. У ряді випадків використовуються обґрунтовані прийоми пониження розмірності задачі (течія в каналах складного профілю та вузьких каналах) [27]. При моделюванні теплообмінного обладнання для ідентифікації математичних моделей окремих каналів складного профілю проводилося чисельне моделювання процесів переносу тепла і маси методом, що описаний в [28]-[31]. Задача розщеплювалася на дві підзадачі: визначення полів швидкостей, температури і концентрації, а також визначення поля тиску. Рішення підзадач проводилося ітераційно при узгодженні рішень підзадач.

Для моделювання розроблено оригінальний метод, що заснований на спільному рішенні рівнянь нерозривності Нав'є-Стокса.

За результатами моделювання означеним методом формувалася модель течії середовища (1)

$$\Delta P = f(G), \quad (1)$$

де ΔP – перепад тиску (вхід-вихід);

G – масова (розрахункова) витрата середовища.

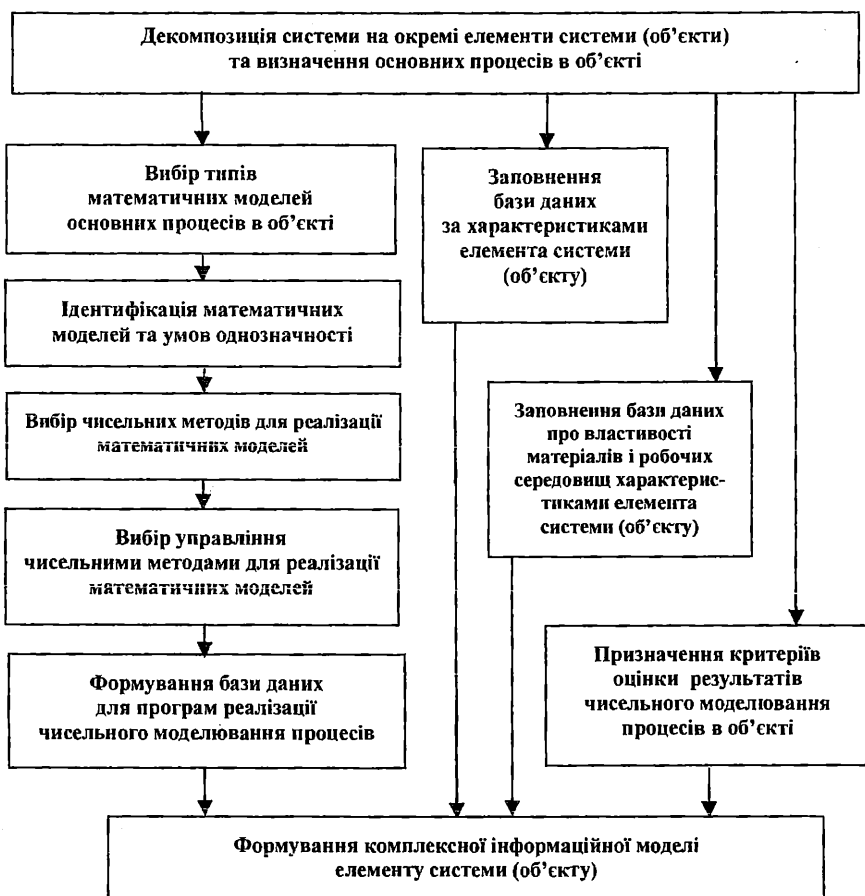


Рис. 1. Формування комплексної інформаційної моделі

Крім того, визначався розподіл значень коефіцієнтів теплообміну по осі каналу в залежності від G .

Аналогічним шляхом проводиться докладне чисельне моделювання взаємопов'язаних процесів в будь-яких складних елементах об'єкта. За результатами чисельного моделювання створюються математичні моделі (у вигляді рівнянь), які потім використовуються при формуванні комплексної інформаційної моделі подібних складних елементів.

Алгоритм проведення обчислювального експерименту. Перед проведенням обчислювального експерименту проводиться декомпозиція об'єкта і підготовка комплексних інформаційних моделей.

Обчислювальний експеримент проводиться ітераційним методом. Локальні ітерації застосовуються для уточнення результатів моделювання процесів в кожному елементі об'єкту дослідження.

Глобальні ітерації використовуються для узгодження (зшивання) результатів моделювання процесів в окремих елементах об'єкту.

У ряді випадків у процесі проведення обчислювального експерименту виникає необхідність в коригуванні комплексних інформаційних моделей елементів об'єкта дослідження.

Наприклад, уточнення математичної моделі або алгоритму (а, отже, і програми розрахунків).

Узагальнена схема алгоритму проведення обчислювального експерименту представлена на рис. 2.

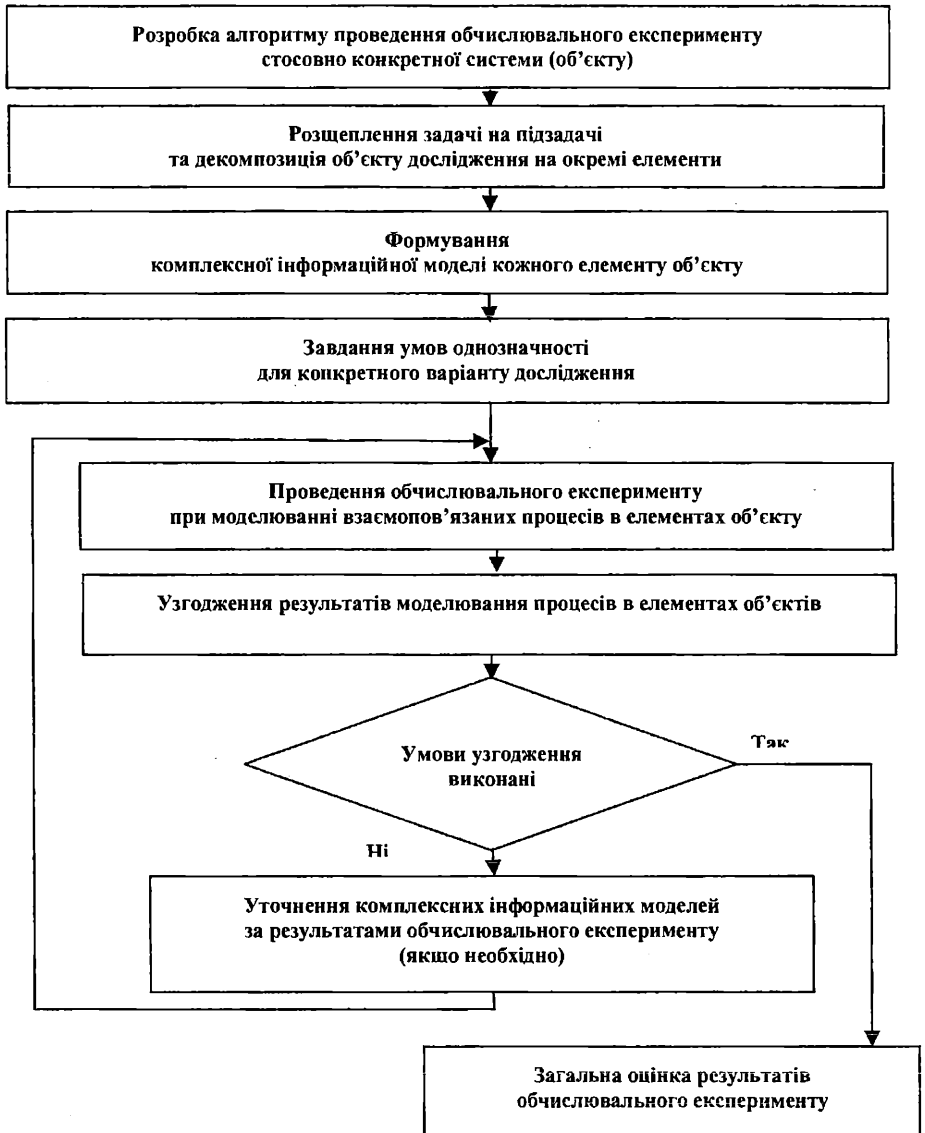


Рис. 2. Алгоритм проведення обчислювального експерименту

Природно, що необхідно проводити оцінку ефективності пропонованих методик і алгоритмів, використовуваних при виконанні обчислювального експерименту.

Для ілюстрації методик проведення обчислювального експерименту та для оцінки його ефективності вибрані два об'єкти, для яких існують надійні результати натурних експериментів:

- охолоджувач повітря побічно-випарного типу;
- коливання корпусу корабля в нерухомій рідині.

У лабораторії кафедри «Технічна кібернетика ім. професора Р.В. Меркта» ОНМУ при пошукових дослідженнях і при виконанні господарської НДР [32] проводилися натурні і обчислювальні експерименти для варіантів охолоджувача повітря побічно-випарного типу, що дозволило оцінити спроможність обчислювальних експериментів.

Для оцінки ефективності обчислювального експерименту при моделюванні хвильових процесів в важкій рідині використано результати фізичного експерименту, що представлені в [33].

Прикладом теплотехнічного устаткування, в якому протікають взаємозв'язані процеси перенесення тепла і маси, можуть служити охолоджувачі повітря випарного типу.

Функціонування охолоджувачів повітря побічно-випарного типу засновано на використанні ефекту непрямого випарного охолодження у розвиненій системі каналів змінного профілю [34]-[35]. У охолоджувача подібного типу реалізуються процеси тепло-масопереносу в системі плоских каналів складного профілю при величині відношення ширини каналу до проміжку 10-20. Режим течії переважно ламінарний.

При дослідженні процесів в теплотехнічному устаткуванні, як правило, проводиться розщеплювання загальної задачі на ряд підзадач [69]:

- дослідження розподілу потоків робочих середовищ по каналах елементів устаткування (гідравлічна задача);
- дослідження процесів перенесення тепла в елементах устаткування (задача теплопереносу).

Складність моделювання процесів в охолоджувачах повітря побічно-випарного типу полягає в тому, що теплообмінні матриці містять велике число каналів. Слід зазначити, що канали матриць охолоджувача повітря (як сухі так і вологі) відрізняються малими конструктивними розмірами по зазору (1,5-2,5 мм) і ширині (10-20 мм). Окрім того, значення параметрів (температура і вологість повітря) мало відрізняються в паралельних каналах, розташованих поруч. Аналогічна картина спостерігається у багатьох пластинчатих теплообмінниках.

Тому, представляється можливим групувати канали з осередненням параметрів потоків у напрямку перпендикулярному вектору швидкості і проводити моделювання для центрального (з групи) каналу див. рис. 3.

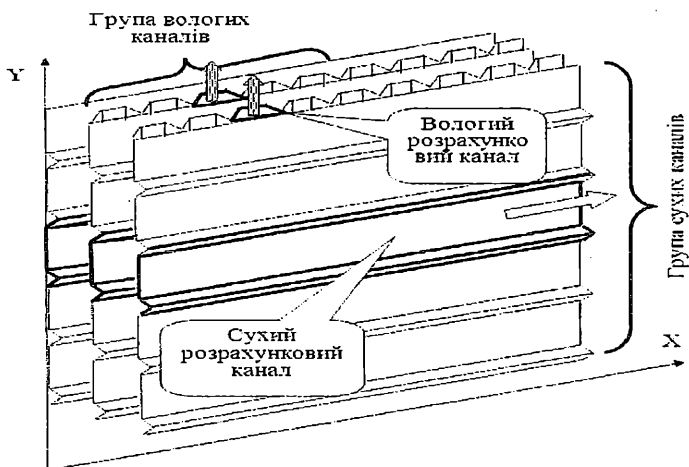
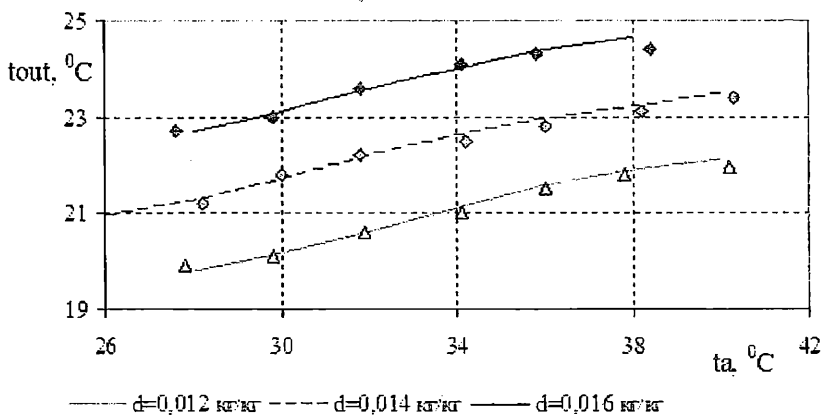


Рис. 3. Схема розрахункових каналів

Розрахунок розподілу потоків повітря виконувався у відповідності до схем охолоджувача з урахуванням угруповання каналів (рис. 3).

При дослідженні процесів перенесення тепла і вологи в системі розрахункових каналів використовувалися математичні моделі в одновимірній постановці. При моделюванні використовувався аналітико-сітковий чисельний метод.

На рис. 4 наведені результати обчислювального та натурального експериментів.



*Рис. 4. Результати дослідження охолоджувача повітря:
 t_a, d – відповідно температура і вологість
атмосферного повітря;
 t_{out} – температура охолодженого повітря*

Актуальним є дослідження процесів качки мілкосидячих суден на глибокій воді.

Інтегральні параметри хитавиці визначаються гідродинамічними коефіцієнтами: приєднаних мас і демпфування. Визначення названих коефіцієнтів можливе на основі фізмоделного [33] чи натурального експерименту. Альтернативою експериментальним методам є використання обчислювального експерименту [36].

Розглядається задача генерації хвиль у важкій ідеальній рідині, що викликані гармонійними коливаннями корпусу судна будь-якої конфігурації. Обумовлюється, що амплітуда генерованих хвиль і переміщення корпусу щодо незбуреної поверхні порівняно з осадкою. Хвилі поширюються в нескінченному напівпросторі без відображення і поглинання.

Рішення в області рідини поблизу корпусу судна і в зоні можливих переміщень вільної поверхні відносно її незбуреного стану знаходиться з використанням проєкційних методів, а в іншій області використовуються різницеві методи. В області різницевого рішення використовуються центральна триточкова різницєва апроксимація. Декомпозиція досліджуваної області показана на рис. 5.

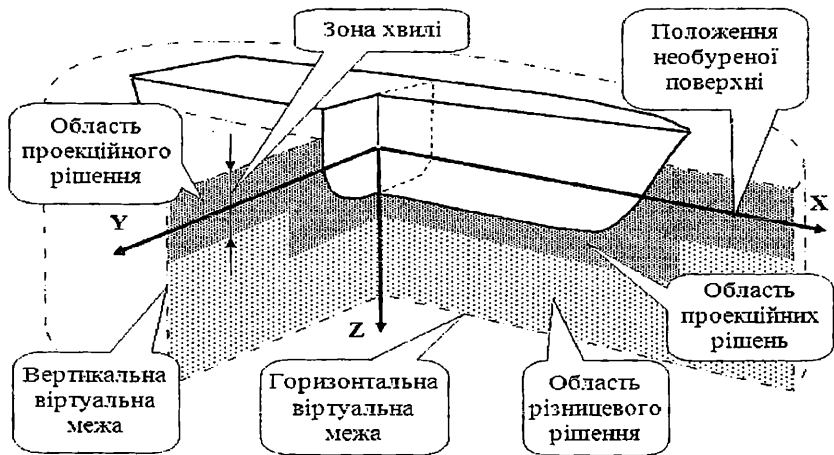


Рис. 5. Декомпозиція досліджуваної області

У розглянутому випадку при декомпозиції досліджуваної області використовується одна і та ж математична модель, але в виділених областях застосовуються різні чисельні методи. Для зшивання рішень (у виділених областях), що отримані проєкційними і різницевими методами, розроблені спеціальні прийоми [37].

На рис. 6 та рис. 7 наведені результати експериментів (обчислювального та фізмоделного).

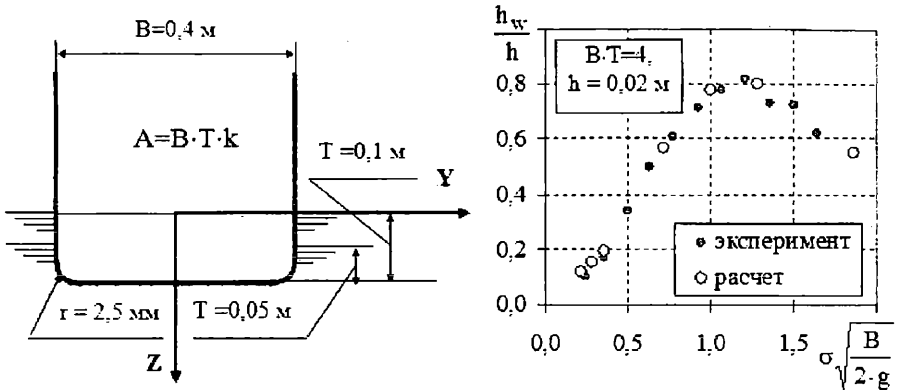


Рис. 6. Характеристики контуру, що коливається, і залежність амплітуди хвилі від частоти коливань корпусу

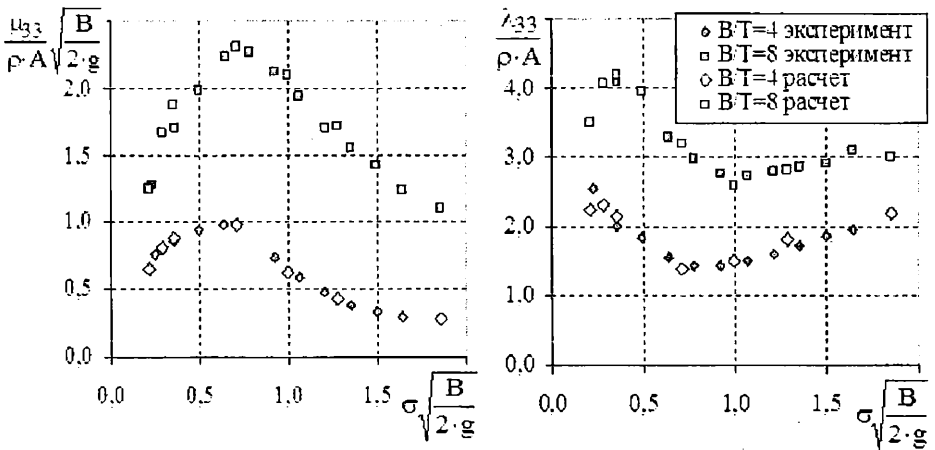


Рис. 7. Порівняння значень гідродинамічних коефіцієнтів хитавиці

На рисунках використовуються наступні позначення:

B, T – відповідно ширина і осадка корпусу;

λ_{33}, μ_{33} – коефіцієнти приєднаної маси і демпфування;

σ – задана частота коливань корпусу;

h_w, h – відповідно амплітуди виникаючої хвилі і коливання корпусу.

Висновки. Використання в обчислювальному експерименті комплексних інформаційних моделей має ряд переваг. У подібних моделях в одному місці зосереджені: математичні моделі, алгоритми, розрахункові програми і необхідні бази даних. Це дозволяє при необхідності оперативно модифікувати окремі частини комплексної інформаційної моделі.

Крім того, такий підхід полегшує підготовку обчислювального експерименту при дослідженні процесів в об'єктах подібних типів.

Використання декомпозиції і групування схожих елементів конструкції дозволяє знизити вимоги до обчислювальних ресурсів без зниження достовірності одержуваних результатів.

Розроблений авторами алгоритм проведення обчислювального експерименту показав свою придатність для дослідження взаємопов'язаних процесів в різних об'єктах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Самарский А.А. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М.: ИММ РАН, 2000. – 409 с.
2. Храмушин В.Н. Трёхмерная тензорная математика вычислительных экспериментов в гидромеханике / В.Н. Храмушин. – Владивосток: ДВО РАН, 2005. – 212 с.
3. Берковский Б.М. Вычислительный эксперимент в конвекции / Б.М. Берковский, В.К. Полевиков. – Мн.: Университетское изд-во, 1988. – 167 с.
4. Шамин Р.В. Вычислительные эксперименты в моделировании поверхностных волн в океане / Р.В. Шамин. – М.: Наука, 2008. – 133 с.
5. Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): Матеріали 1-ї Міжнародної науково-технічної конференції (10-13 травня 2011 р., Черкаси). – Черкаси: Маклаут, 2011. – 512 с.
6. Великий російсько-український політехнічний словник / Під ред. А.С. Благоевченського. – К.: Чумацький Шлях, 2002. – 749 с.
7. Веселовський В.Б. Математичне моделювання та методи розрахунку теплотехнологічних процесів: Навч. посібник / В.Б. Веселовський, А.Ю. Дреус, А.В. Сяєв. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 248 с.
8. Романов В.Н. Системний аналіз для інженерів / В.Н. Романов. – СПб.: СЗГЗТУ, 2006. – 186 с.
9. Царегородцев А.В. Математическое моделирование управляющих систем / А.В. Царегородцев: Учебн. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 80 с.
10. Хорошев А.Н. Введение в управление проектированием механических систем / А.Н. Хорошев: Учебн. пособие. – Белгород, 1999. – 372 с.
11. Лебедев А.Н. Моделирование в научно-технических исследованиях / А.Н. Лебедев. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.

12. Советов Б.Я. Моделирование систем: Учебник для вузов / Б.Я. Советов, С.Я.Яковлев. – М.: Высшая школа, 1998. – 320 с.
13. Кубланов М.С. Математическое моделирование. Методология и методы разработки математических моделей механических систем и процессов / М.С. Кубланов: Учебн. пособие. – Ч. I. – 3-е изд. – М.: МГТУ ГА, 2004. – 108 с.
14. Дьяконов В.П. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем: Специальный справочник / В.П. Дьяконов, В. Круглов // СПб.: Питер, 2002. – 448 с.
15. Безручко Б.П. Реконструкция обыкновенных дифференциальных уравнений по временным рядам / Б.П. Безручко, Д.А. Смирнов // Учебно-методическое пособие. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2000. – 46 с.
16. Челабчи В.Н. К вопросу идентификации динамических объектов / В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Вторая Международная научно-практическая конференция «Спецпроект: анализ научных исследований»: Сб. научн. работ. – Днепропетровск: НАЦ «ЕРА», 2005. – Т. 3. – С. 52-55.
17. Челабчи В.В. Управляемая идентификация моделей динамических систем / В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // *Materialy IX Megdynarodowej naukovowi-praktycznej konferencij. «Perspektywiczne opracowania sa nauka i technikami-2013».* *Matematyka. – Przemysl: Nauka i studia, 2013. – Vol. 33. – С. 47-51.*
18. Челабчи В.В. К вопросу параметрической идентификации элементов динамических систем с запаздыванием / В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // *Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Передові наукові розробки – 2006».* – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. – Т. 5. – С. 71-73.
19. Челабчі В.В. Згладжування зашумленої інформації / В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // *Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології».* – Одеса: ВидавІнформ НУ «ОМА», 2016. – С. 86-88.
20. Chelabchi V.N. Smoothing out of experimental dependences / V.N. Chelabchi, V.V. Chelabchi // *Сб. научн. трудов Sword. – Иваново: МАРКОВА АД, 2013. – Вып. 4. – Т. 5. – С. 47-51.*
21. Меркт Р.В. Оперативная идентификация транспортных свойств капиллярно-пористых материалов / Н.Ф. Латий, Р.В. Меркт, В.Н. Челабчи // *Сб. Современные направления теоретических и прикладных исследований 2007. – Т. 3. – Одесса: НИИМФ-ОНМУ, 2007. – С.60-62.*

22. Меркт Р.В., Челабчи В.В., Челабчи В.Н. О выборе численных методов для исследования динамических систем // *Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2007: Сб. – Т. 1. – Одесса: НИИМФ-ОНМУ, 2007. – С.81-84.*
23. Челабчі В.М. Чисельні методи: Навч. посібник / І.А. Тузова, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи. – Одеса: ОНМУ, 2012. – 39 с.
24. Меркт Р.В. Организация управления решением обыкновенных дифференциальных уравнений проекционно-сеточным методом / Р.В. Меркт, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // *Наука в інформаційному просторі: Матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: Біла К.О., 2013. – Т. 7. – С. 86-90.*
25. Челабчі В.М. Вибір чисельних методів при моделюванні динаміки систем / Т.Д. Панченко, І.А. Тузова, В.В. Челабчі, В.М. Челабчі // *Информационные технологии и средства обучения [Електронний ресурс], 2016. – Режим доступу: <http://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/author/submission/1387>. – Дата доступу 01.07.2016.*
26. Меркт Р.В. Комп'ютерне моделювання процесів переносу / Р.В. Меркт, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // *Тези доповідей науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології». – Суми: Друкарський дім «Папірус», 2012. – С. 145-148.*
27. Меркт Р.В. Развитие эффективных методов компьютерного моделирования / Р.В. Меркт, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // *Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2005. – Вып. 17. – С. 257-270.*
28. Челабчи В.В. Численное моделирование течений в каналах / В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // *Materialy VI Międzynarodowej naukowowi-praktycznej konferencji «Stosowane naukowe opracowania-2010». – Przenysil: Nauka i studia, 2010. – V. 8. – С. 17-22.*
29. Меркт Р.В. Особенности моделирования переходных режимов течения в каналах / Р.В. Меркт, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // *Сб. научн. трудов международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2010». – Одесса: Черноморье, 2010. – Т. 34. – С. 16-20.*
30. Merkt R.V. Computer simulation of associated transfer processes / R.V. Merk, V.V. Chelabchy // *Зб. наук. праць: Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – Харків: НТУ «ХПИ», 2004. – № 2. – С. 37-47.*
31. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С.В. Патанкар. – М.: Энергоатомиздат, 1984. –152 с.

32. *Вдосконалення систем кондиціювання повітря на основі енергозберігаючих технологій: Звіт з НДР / ОНМУ, НДІ фундаментальних та прикладних досліджень: № держреєстрації 0107U001163. – Одеса: ОНМУ, 2008. – 42 с.*
33. *Vugts J.H. The hydrodynamic coefficients for swaying, heaving and rolling cylinders in a free surface / J.H. Vugts // International Shipbuilding Progress. – July 1968. – V.15. – № 167. – P. 251-276.*
34. *Merkt R.V. Ecologically clean cool-production on ships / R.V. Merkt, V.N. Chelabchi // Proceedings of the 6-th Congress of the IMAM. – Varna, Bulgaria, 1993. – Vol. 3. – P. 173-179.*
35. *Дорошенко А.В. Новое поколение систем кондиционирования воздуха на основе комбинированных испарительных охладителей / А.В. Дорошенко, В.Х. Кириллов, О.В. Ефимова, А.А. Климчук // Холодильная техника и технология. – 2000. – № 67. – С. 57-68.*
36. *Челабчі В.В. Моделювання процесів хвильової гідромеханіки / В.В. Челабчі // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2016. – № 1(47). – С. 41-57.*
37. *Челабчи В.В. Шивка проекционных решений при моделировании фильтрационных течений / С.И. Новак, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Материали за 7-а международна научна практична конференция «Achievement of high school». – 2011. – Т. 27. Математика. Физика. – София: «БялГРАД-БГ»ООД. – С. 20-26.*

Стаття надійшла до редакції 10.01.2018

Рецензенти:

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **Л.С. Вігюк**

доктор технічних наук, професор, віце-президент Асоціації українського сейсмостійкого будівництва **К.В. Єгунов**

UDC 517.8

THE GENERAL ALGORITHM OF WRITING COUPLES
OF DUAL PROBLEMS IN LINEAR OPTIMIZATION

S.D. Titov, L.S. Chernova

Abstract. The article considered the structure of general algorithm of couples of dual problems in the linear optimization. The existing models of moving from a primal problem to a dual one are content-driven. In view of this fact, the algorithm of general approach to writing couples of dual problems has been re-commended and conclusively proven. Formalization of the developed model allows for easy getting correct couples of dual problems.

Keywords: linear optimization, primal problem, dual problem, duality, objective function, constraint system, couples of dual problems.

ЗАГАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ
ПАР ДВОЇСТИХ ЗАДАЧ У ЛІНІЙНІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ

С.Д. Тітов, Л.С. Чернова

Анотація. У статті розглянута побудова загального алгоритму пар двоїстих задач в лінійній оптимізації. Існуючі схеми переходу від прямої задачі до двоїстої носять змістовний характер. З огляду на цей факт, запропонований та строго доведений алгоритм загального підходу до скла-дання пар спряжених задач. Формалізація розробленої схеми дозволяє легко отримувати правильні пари двоїстих задач.

Ключові слова: лінійна оптимізація, пряма задача, двоїста задача, спряжені задачі, цільова функція, система обмежень.

ОБЩИЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ
ПАР ДВОЙСТВЕННЫХ ЗАДАЧ В ЛИНЕЙНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

С.Д. Титов, Л.С. Чернова

Аннотация. В статье рассмотрено построение общего алгоритма двойственных задач линейной оптимизации. Существующие схемы перехода от прямой задачи к двойственной носят смысловой характер. В статье предложен строгий подход к конструированию пар сопряженных задач в линейной оптимизации. Формализация разработанной схемы позволяет легко получать симметричные и несимметричные пары задач.

Ключевые слова: линейная оптимизация, прямая задача, двойственная задача, сопряженные задачи, целевая функция, система ограничений.

So-called theorems of duality exist in many branches of mathematics (theory of sets, predicates, propositions, algebra of events, geometry, etc.).

According to certain rules, a dual theorem is made corresponding to a primal one. The classical part of linear optimization (LO) knows such couple of extremum problems.

This is related to the peculiarity of convex sets – closed convex sets in vector space can be described dually, both in the output space R^n and in the dual space R^m .

As a rule, the existing models of moving from a primal linear optimization problem to a dual one are of extensive economic nature [1; 2; 3; 4] and, therefore, cannot satisfy such exact science as mathematics. The main purpose of the present work is to get the general moving algorithm and conclusive proving of these rules.

Presentation of the main material

Definition of duality for the standard form of a LO problem. Let us have a primal linear optimization problem in the standard form.

A standard LO problem is written as follows:

$$W_I = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max$$
$$\Omega_I : \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m,$$
$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n,$$

or written as a matrix

$$W_I = CX \rightarrow \max$$
$$\Omega_I : AX \leq B,$$
$$X \geq 0,$$

A problem being dual to it is to be written as follows:

$$W_{II} = Y B - \min,$$
$$\Omega_{II} : Y A \geq C^T,$$
$$Y \geq 0.$$

The following designations shall be used hereinafter:

$c = C = c = [c_1, c_2, \dots, c_n]$, $C \in R^n$ – objective function factors;

$x = X = x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$, $X \in R^n$ – variables of the LO problem;

$$A = [a_{ij}]_{(m \times n)} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2j} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3j} & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & a_{i3} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \cdots & a_{mj} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} -$$

matrix of the constraint system factors;

$\mathbf{b} = B = b = [b_1, b_2, \dots, b_m]^T, B \in \mathbf{R}^m$ – factors of the constraint system right parts.

Should the vectors be introduced:

$\mathbf{a}_j = a_j = [a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj}]^T \in \mathbf{R}^m, j = 1, 2, \dots, m$ – column vectors;

$A, \mathbf{a}^i = a^i = [a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}] \in \mathbf{R}^n, i = 1, 2, \dots, n$ – line vectors A , the system factors matrix can be represented in vector form

$$A = [\mathbf{a}^1, \mathbf{a}^2, \dots, \mathbf{a}^n]^T = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_m] \in \mathbf{R}^m \otimes \mathbf{R}^n.$$

The indicated definition of a dual problem results in several obvious factors:

- extreme properties of objective functions are opposite in their meaning – the primal LO problem is maximum and the dual problem is minimum;
- the primal problem constraint system only consists of inequations connected by the ratio \leq – the mandatory condition for the maximum problem is that only \leq constraint inequations are present;
- the dual problem objective function factors are components of the LO primal problem constraint system right parts vector;
- A dual problem constraint system matrix is transposed relative to the primal matrix. That is really true because $YA = A^T Y^T$;
- A dual problem constraint system right parts are objective function factors of the primal task;
- Each constraint inequation of a primal problem is to be made corresponding to an integrated dual unknown;

$$(a^j \mathbf{x}) \leq b_j \xrightarrow{\text{def}} y_j \geq 0$$

- Each integral unknown of a primal LO problem is to be made corresponding to constraint inequation of the dual one;

$$x_i \geq 0 \xrightarrow{\text{def}} (y a_i) \geq c_i$$

Let us confirm the duality of the indicated definition – application of the operation of getting a dual problem from the dual problem results in a primal one

$$I \xrightarrow{\text{def}} II \xrightarrow{\text{def}} I$$

Let us represent a dual problem in the form of a maximum problem and prove the duality using the rules of moving and equivalent transformations.

$$\begin{aligned} W_{II} = -Y B - \max, & & W_{II} = -(C^T)^T X - \min, \\ -Y A \leq -C^T, & \xrightarrow{\text{def}} & -AX \leq -B, & \Leftrightarrow \\ Y \geq 0 & & X \geq 0 & \end{aligned}$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{aligned} W_I = C X - \max, \\ \Leftrightarrow AX \leq B, \\ X \geq 0 \end{aligned}$$

Thus the main feature of duality of problems in LO is the possibility of their reduction one to the other by definition.

Let us consider a couple of LO problems and prove their duality.

$$I: \begin{aligned} W_I = C X - \max, \\ AX = B, \end{aligned} \xrightarrow{\text{def}} II: \begin{aligned} W_I = YB - \min, \\ YA = C^T, \end{aligned}$$

Proving.

$$I: \begin{aligned} W_I = C X - \max, \\ AX = B, \end{aligned} \xrightarrow{X=X''-X', X'' \geq 0, X' \geq 0}$$

$$\begin{aligned} W_I = C (X'' - X') - \max, & & W_{II} = (Y'' - Y')B - \min, \\ \begin{cases} A (X'' - X') \leq B, \\ -A (X'' - X') \leq -B, \\ X'' \geq 0, X' \geq 0, \end{cases} & \xrightarrow{\text{def}} & II: \begin{cases} (Y'' - Y')A \geq C^T, \\ (Y'' - Y')(-A) \geq -C^T, \\ Y'' \geq 0, Y' \geq 0, \end{cases} & \Leftrightarrow & II: \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_I = YB - \min, \\ YA = C^T. \end{aligned}$$

The proven duality of problems allows formulating the results from definition of the duality:

– Each constraint equation of the primal problem is made corresponding to the dual unknown with arbitrary sign;

$$I: AX = B, \xrightarrow{\text{def}} II: Y.$$

– The arbitrary-sign dual problem unknown is made corresponding to constraint equation of the dual.

$$I: X \xrightarrow{\text{def}} II: YA = C^T.$$

Using similar ideas, it is not difficult to prove the duality of the general forms of dual problems couples

$$I: \begin{array}{l} W_I = C X - \max, \\ AX \leq B, \end{array} \xrightarrow{\text{def}} II: \begin{array}{l} W_{II} = YB - \min, \\ YA = C^T, \\ Y \geq 0. \end{array}$$

$$I: \begin{array}{l} W_I = C X - \max, \\ AX = B, \\ X \geq 0, \end{array} \xrightarrow{\text{def}} II: \begin{array}{l} W_{II} = YB - \min, \\ YA \geq C^T, \end{array}$$

$$I: \begin{array}{l} W_I = C X - \min, \\ AX \geq B, \end{array} \xrightarrow{\text{def}} II: \begin{array}{l} W_{II} = YB - \max, \\ YA = C^T, \\ Y \geq 0. \end{array}$$

Definition of duality for the general form of a LO problem. The indicated couples of dual problems allow generalizing the definition of duality in linear optimization problems for the case when a primal problem is presented in general form.

Definition

Let us have a general linear optimization problem

$$W_I = C X - \max,$$

$$I: \left\{ \begin{array}{l} \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \leq \\ = \end{bmatrix} \begin{pmatrix} B_1 \\ B_{\frac{\pi}{2}} \end{pmatrix}, \\ x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, l, \end{array} \right.$$

or with use of signs of summation

$$W_I = \sum_{j=1}^n c_j x_j - \max,$$

$$I: \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, k, \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, \quad i = k+1, k+2, k+3, \dots, m, \\ x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, l, \end{array} \right.$$

let us call the following problem as dual to the above indicated

$$W_{II} = YB - \min,$$

$$II : \left\{ \begin{array}{l} (Y_1 \ Y_2) \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \geq \\ = \end{bmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix}, \\ y_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k, \end{array} \right.$$

or with use of signs of summation

$$W_{II} = \sum_{i=1}^m b_i y_i - \min,$$

$$II : \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m y_i a_{ij} \geq c_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, l, \\ \sum_{i=1}^m y_i a_{ij} = c_i, \quad i = l+1, l+2, l+3, \dots, n, \\ y_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k. \end{array} \right.$$

Model example.

A dual problem is to be written to the primal problem of linear optimization

$$W_I = x_1 + 9x_2 + 5x_3 - 7x_4 - \max,$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 \geq 4, \\ 2x_1 - x_2 + 3x_3 - 2x_4 \leq 3, \\ 3x_1 + x_2 - 2x_3 + x_4 = 2, \\ x_1 \geq 0, x_4 \geq 0, \end{array} \right.$$

For the beginning of moving to the dual problem, we prepare a system of constraints – for a maximum problem, we only need \leq inequations to be present. We change the sign of the first inequation for the opposite one.

$$W_I = x_1 + 9x_2 + 5x_3 - 7x_4 - \max,$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -x_1 - x_2 - x_3 + x_4 \leq -4, \\ 2x_1 - x_2 + 3x_3 - 2x_4 \leq 3, \\ 3x_1 + x_2 - 2x_3 + x_4 = 2, \\ x_1 \geq 0, x_4 \geq 0 \end{array} \right.$$

It is convenient to move to the dual problem using Table 1.

Table 1

| $Y \setminus X$ | $X_1 \geq 0$ | X_2 | X_3 | $X_4 \geq 0$ | $?_I$ | B |
|-----------------|--------------|-------|-------|--------------|--------|-----|
| $Y_1 \geq 0$ | -1 | -1 | -1 | 1 | \leq | -4 |
| $Y_2 \geq 0$ | 2 | -1 | 3 | -2 | \leq | 3 |
| Y_3 | 3 | 1 | -2 | 1 | $=$ | 2 |
| $?_{II}$ | \geq | $=$ | $=$ | \geq | | |
| C | 1 | 9 | 5 | -7 | | |

The dual problem looks as follows:

$$W_{II} = -4y_1 + 3y_2 + 2y_3 - \min,$$

$$\begin{cases} -y_1 + 2y_2 + y_3 \geq 1, \\ -y_1 - y_2 + y_3 = 9, \\ -y_1 + 3y_2 - 2y_3 = 5, \\ y_1 - 2y_2 + y_3 \geq -7, \\ y_1 \geq 0, y_4 \geq 0. \end{cases}$$

We still have to study the situation of presence of negative unknowns in the primal problem and an extremum breach of correspondence of the inequation sign.

Let us prove that each negative unknown of the primal problem is to be made corresponding to a constraint inequation, for $max - \geq$, and for $min - \leq$.

The couple of LO problems is dual

$$I: \begin{cases} W_I = C X - max, \\ A X \geq B, \\ X \geq 0, \end{cases} \xrightarrow{def} II: \begin{cases} W_{II} = YB - min, \\ Y A \leq C^T, \\ Y \leq 0. \end{cases}$$

It is true that

$$I: \begin{cases} W_I = C X - max, \\ A X \geq B, \\ X \geq 0, \end{cases} \Leftrightarrow I: \begin{cases} W_I = C X - max, \\ -A X \leq -B, \\ X \geq 0, \end{cases} \xrightarrow{def}$$

$$\xrightarrow{\text{def}} II: \quad \begin{array}{l} W_{II} = Y'(-B) - \min, \quad Y' = -Y \\ Y'(-A) \geq C^T, \\ Y' \geq 0, \end{array} \quad \Leftrightarrow \quad II: \quad \begin{array}{l} W_{II} = YB - \min, \\ YA \leq C^T, \\ Y \leq 0. \end{array}$$

Therefore, it has been proven that in case of an optimum breach of correspondence of the inequation sign, the dual unknown has to be negative.

In the same way, it is ascertained that each negative unknown of the primal problem is made corresponding to a constraint inequation in the dual problem that is opposite in sign to the general definition. Based on this, the indicated couples of problems are dual.

$$I: \quad \begin{array}{l} W_I = C X - \max, \\ A X \leq B, \\ X \leq 0 \end{array} \quad \xrightarrow{\text{def}} \quad II: \quad \begin{array}{l} W_{II} = YB - \min, \\ YA \leq C^T, \\ Y \geq 0. \end{array}$$

$$I: \quad \begin{array}{l} W_I = C X - \max, \\ A X \geq B, \\ X \leq 0, \end{array} \quad \xrightarrow{\text{def}} \quad II: \quad \begin{array}{l} W_{II} = YB - \min, \\ YA \leq C^T, \\ Y \leq 0 \end{array}$$

$$I: \quad \begin{array}{l} W_I = C X - \min, \\ A X \geq B, \\ X \leq 0, \end{array} \quad \xrightarrow{\text{def}} \quad II: \quad \begin{array}{l} W_{II} = YB - \max, \\ YA \geq C^T, \\ Y \geq 0. \end{array}$$

Definition of duality for the arbitrary form of a LO problem.

Summarizing the proofs and results mentioned above, we can get the general algorithm of moving to dual problem for the arbitrary form of linear optimization problem.

Definition

For the arbitrary form of a linear optimization problem

$$\begin{array}{l} W_I = C X - \max, \\ \left\{ \begin{array}{l} \left(\begin{array}{cc} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \\ A_{31} & A_{32} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{array} \right) \left[\begin{array}{c} \leq \\ \geq \\ = \end{array} \right] \left(\begin{array}{c} B_1 \\ B_2 \\ B_2 \end{array} \right), \end{array} \right. \\ I: \quad \begin{array}{l} x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, k, \\ x_j \leq 0, \quad j = k + 1, k + 2, \dots, l, \\ x_j, \quad j = l + 1, l + 2, \dots, n, \end{array} \end{array}$$

or with use of signs of summation

$$W_I = \sum_{j=1}^n c_j x_j - \max,$$

$$I: \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, & i = 1, 2, 3, \dots, s, \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i, & i = s+1, s+2, s+3, \dots, t, \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, & i = t+1, t+2, t+3, \dots, m, \end{cases}$$

$$\begin{aligned} x_j &\geq 0, & j = 1, 2, \dots, k, \\ x_j &\leq 0, & j = k+1, k+2, \dots, l, \\ x_j && j = l+1, l+2, \dots, n, \end{aligned}$$

let us call the following problem as dual to the above indicated

$$W_{II} = Y B - \min,$$

$$II: \begin{cases} (Y_1 \ Y_2 \ Y_3) \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \\ A_{31} & A_{32} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \geq \\ \leq \\ = \end{bmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix}, \\ y_i \geq 0, & i = 1, 2, \dots, s, \\ y_i \geq 0, & i = s+1, s+2, \dots, t, \\ y_i, & i = t+1, t+2, \dots, m, \end{cases}$$

or with use of signs of summation

$$W_{II} = \sum_{i=1}^m b_i y_i - \min,$$

$$II: \begin{cases} \sum_{i=1}^m y_i a_{ij} \geq c_j, & j = 1, 2, 3, \dots, k, \\ \sum_{i=1}^m y_i a_{ij} \leq c_j, & j = k+1, k+2, k+3, \dots, l, \\ \sum_{i=1}^m y_i a_{ij} = c_i, & i = l+1, l+2, l+3, \dots, n, \end{cases}$$

$$\begin{aligned} y_i &\geq 0, & i = 1, 2, \dots, s, \\ y_i &\leq 0, & i = s+1, s+2, \dots, t, \\ y_i && i = t+1, t+2, \dots, m. \end{aligned}$$

Model example

A dual problem has to be written to the indicated primal problem

$$\begin{aligned}
 W_I &= 2x_1 + 3x_2 - 4x_3 - x_4 - \max, \\
 &\begin{cases} -x_1 + 3x_2 - 6x_3 - x_4 \geq 9, \\ 9x_1 - 5x_2 + 9x_3 - x_4 \leq 3, \\ x_1 + 9x_2 - 8x_3 + 3x_4 = 1, \\ x_1 \geq 0, x_2 \leq 0, x_4 \geq 0, \end{cases}
 \end{aligned}$$

For moving to dual problem, we use Table 2

Table 2

| $Y \setminus X$ | $X_1 \geq 0$ | $X_2 \leq 0$ | X_3 | $X_4 \geq 0$ | $?_I$ | B |
|-----------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------|-----|
| $Y_1 \leq 0$ | -1 | 3 | -6 | -1 | \geq | 9 |
| $Y_2 \geq 0$ | 9 | -5 | 9 | -1 | \leq | 3 |
| Y_3 | 1 | 9 | -8 | 3 | $=$ | 1 |
| $?_{II}$ | \geq | \leq | $=$ | \geq | | |
| C | 2 | 3 | -4 | -1 | | |

The dual problem looks as follows

$$\begin{aligned}
 W_{II} &= 9y_1 + 3y_2 + y_3 - \min, \\
 II: &\begin{cases} -y_1 + 9y_2 + y_3 \geq 2, \\ 3y_1 - 5y_2 + 9y_3 \leq 3, \\ -6y_1 + 9y_2 - 8y_3 = -4, \\ -y_1 - y_2 + 3y_3 \geq -1, \\ y_1 \leq 0, y_2 \geq 0. \end{cases}
 \end{aligned}$$

REFERENCES

1. Ashmanov S.A. *Linear Programming*. – M.: Nauka, 1981.
2. Ashmanov S.A. *Introduction to Mathematical Economics*. – M.: Nauka, 1984.
3. Buhir M.K. *Mathematics for Economists. Linear Algebra, Linear Models*. – K.: Academy Publishing Centre, 1998.
4. Karmanov V.G. *Mathematical Programming*. – M.: Nauka, 1975.

Стаття надійшла до редакції 05.02.2018

Рецензент – доктор технічних наук, професор Чорноморського державного університету ім. Петра Могили **М.Т. Фісун**

УДК 629.05

**МЕТОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ
ПРИ ВИКОРИСТАННІ ДЕТАЛІЗОВАНОГО МАСИВУ ГЛИБИН
В РІЧКОВИХ ЕЛЕКТРОННО-КАРТОГРАФІЧНИХ СИСТЕМАХ**

В.В. Доронін, М.В. Алєйніков, В.М. Алєйніков

Анотація. Стаття присвячена підвищенню ефективності експлуатації водного транспорту за допомогою автоматизації відображення фактичних глибин на електронній карті шляхом реалізації методів обчислювального інтелекту. Представлений аналіз останніх досліджень та публікацій за темою. Запропоновано способи і сформульовано головні принципи підходу до інформаційного опису структури функціонування системи використання деталізованого масиву глибин при русі суден, методологію системної оптимізації і стратегії використання деталізованого масиву глибин, геометричне моделювання функціональних нелінійних задач навігації при змінах умов експлуатації, спосіб розв'язання задачі щодо зняття невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин у n -мірному просторі, спосіб інтелектуальної обробки потоку даних за символно-формалізованими перетвореннями Лапласа.

Ключові слова: водний транспорт, безпека руху, електронна карта, водомірний пост, довкілля.

**МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЕТАЛИЗИРОВАННОГО МАССИВА ГЛУБИН
В РЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОННО-КАРТОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

В.В. Доронин, М.В. Алєйников, В.М. Алєйников

Аннотация. Статья посвящена повышению эффективности эксплуатации водного транспорта с помощью автоматизации изображения фактических глубин на электронной карте путем реализации методов вычислительного интеллекта.

Представлен анализ последних исследований и публикаций по теме. Предложены способы и сформулированы главные принципы подхода к информационному описанию структуры функционирования системы использования детализированного массива глубин при движении судов, методология системной оптимизации и стратегии использования детализированного массива глубин, геометрическое моделирование функциональных нелинейных задач навигации при изменении условий эксплуатации, способ решения задачи по снятию неопределенности ситуационной динамики использования детализированного банка глубин в n -мерном пространстве, способ интеллектуальной обработки потока данных с использованием символно-формализованных преобразований Лапласа.

Ключевые слова: водный транспорт, безопасность движения, электронная карта, водомерный пост, охрана окружающей среды.

**METHODS OF IMPLEMENTATION OF THE COMPUTATIONAL INTELLIGENCE
WHEN USING THE DETAILED DEPTH MASK
IN RIVER ELECTRON-CARTOGRAPHIC SYSTEMS**

V.V. Doronin, M.V. Aleynikov, V.M. Aleynikov

The article is devoted to improving of operational efficiency of water transport automation, display of the actual depth of the electronic chart by implementing methods of computational intelligence. The analysis of recent research and publications is represented the topic. A mound them: methods and of main principles of approach to informative in description of the structure of the system, using of an array of detailed depth when driving vehicles, methodology and system optimization strategy, using of a detailed array of depths, geometric modeling functionality nonlinear problems navigating with changes in operating conditions, method of solving the problem of lifting uncertainties detailed situational dynamics using bank depths in n-dimensional space, intelligent processing method Flow data for character-formalized Laplace transform.

Keywords: water transport, traffic safety, electronic chart, water gauge post, environment.

Вступ. У XXI столітті річковий транспорт стає одним з найважливіших елементів транспортних перевезень, а його розвиток – потужним каталізатором економічного зростання й підвищення обороноздатності держави. Ефективним механізмом експлуатації водних транспортних засобів (ВТЗ) у сучасних умовах інтелектуалізації системи прийняття рішень є перехід на інструментальний метод навігації й подальше підвищення безпеки руху ВТЗ на внутрішніх водних шляхах (ВВШ) України. Багатокритеріальні вимоги до експлуатаційних режимів управління рухом ВТЗ, насамперед на стислих габаритних смугах ВВШ, породжують труднощі з реалізацією обчислювального інтелекту. За допомогою сучасних комп'ютерних, інформаційних та телекомунікаційних технологій він поки ще не здатний за критерієм обчислювальної складності зменшити показник аварійності суден.

Аналіз сучасного стану проблеми. Найважливішим елементом інструментального методу навігації на ВВШ України є система відображення фактичних глибин на електронній карті. Дослідження та розв'язання актуальної головної задачі полягає в диференційованому відображенні фактичних глибин на системній електронній карті (SENC) у річковій електронно-картографічній системі (Inland ECDIS), що вимагає розробки додаткових програмних, інформаційних та інструментальних засобів оперативного синтезу дієвих систем підтримки прийняття рішень для вахтових помічників капітанів.

Розв'язання проблеми дослідження щодо використання деталізованого масиву глибин, автоматизації його поновлення в Inland ECDIS сприятиме вирішенню прикладних задач для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи й потреб обороноздатності України. Зокрема, сьогодні головна відмінна особливість ВВШ України полягає в нестабільності глибин, русел річок і характеристик водних потоків. Так, наприклад, на річці Дніпро суттєві зміни суднового ходу можуть спостерігатися протягом однієї навігації. При цьому, подібним переформовуванням річкового русла властива випадковість і неоднорідність глибин [2].

Розробка і впровадження методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS дозволить усунути відставання в розвитку сучасних транспортних технологій і прискорить процес інтеграції в Європейський союз. Введення інструментального методу навігації дозволить в особливий період оперативного закривати судноплавство по фарватеру й здійснювати проводку обраних суден.

Ідея дослідження обґрунтовується специфікою предметної області, що пов'язано з безпекою судноплавства на ВВШ України, двоїстістю природи використання деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах. З одного боку, це вимоги обороноздатності держави, безпеки судноплавства, пов'язані з достовірністю глибин і ізобат, що відображаються на SENC, тобто не мають суто економічного характеру. З іншого боку, економічна складова оцінюється системою критеріїв, пов'язаних з впровадженням зазначеної ідеї і конструктивного вирішення ряду додаткових задач: відмова від лоцманського принципу судноводіння; відмова від установки берегових і плавучих ЗНО; зменшення навантаження відображення SENC та інше. Вирішення зазначеної проблеми, по-перше, спростить завдання переведення експлуатації суднового ходу річки Дніпро в умовах особливого періоду. По-друге, ставить під сумнів необхідність установки берегових і плавучих засобів навігаційного обладнання (ЗНО), необхідність деталізації масиву глибин на SENC, оскільки: дані про глибини на ВВШ швидко застарівають, а для безпеки судноплавства набагато важливіше точне зазначення положення фарватеру.

Мета роботи. Метою досліджень є ефективна експлуатація водного транспорту за допомогою впровадження методів автоматизації отримання та відображення фактичних глибин на електронній карті з дотриманням вимог обороноздатності держави, безпеки руху та охорони навколишнього середовища.

Аналіз останніх досліджень та публікацій за темою. Слід зазначити, що стаття, пов'язана з розв'язанням проблеми оновлення відображуваного масиву глибин на SENC, представляється вперше. Так сталося, що обрана проблема вивчена ще не повністю, деякі її аспекти досліджені поверхово і побіжно. У даному разі доречно вказати, що вивчення стану

даної проблеми почалося з найбільш ґрунтовних публікацій: монографії Паніна В.В. «Структурне моделювання та символічні перетворення для управління рухом транспортних засобів», Міністерство освіти і науки, 2014 [5] та дисертації Дороніна В.В. «Методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту засобами електронно-картографічної інтелектуалізації», Київ, КДАВТ, 2016, які є найбільш близькими до обраної проблеми.

У журналі «Річковий транспорт (XXI століття)», № 1, 2014 (Росія) в статті Каретникова В.В. «Перспективи розвитку електронних навігаційних карт внутрішніх водних шляхів Російської Федерації» [7] запропоновані рекомендації по впровадженню нових конструктивних підходів до створення та оновлення баз даних навігаційної інформації електронних навігаційних карт на ВВШ РФ. Було сформульовано ряд дуже цікавих науково обґрунтованих рекомендацій щодо створення баз даних ENC, впровадження яких на водному транспорті, безумовно, забезпечить підвищення безпеки судноплавства.

Вагомі наукові здобутки в розвитку інструментального методу навігації на річковому транспорті висвітлені в працях вітчизняних вчених: Вагущенко Л.Л., Баранова Г.Л., Паніна В.В., Беляєвського Л.С., а також закордонних вчених: Волкова А.Б., Гагарського Д.А., Каретникова В.В., Ерика Тадо Тедонзонга. Проблема щодо автоматизації оновлення відображуваного масиву глибин на ENC розглядалася тільки опосередковано у форматі пропозицій і гіпотез. З досвіду зарубіжних країн, наприклад, Австрії, відомо, що кодуються тільки ізобати. У США також кодуються тільки ізобати, позначки глибин відсутні. Примітно, що на ВВШ США плавучі ЗНО застосовуються лише в деяких місцях, а берегові ЗНО майже відсутні. На р. Міссісіпі здійснена повна відмова від лоцманського принципу судноводіння [7]. Такий підхід можна пояснити необхідністю мати в наявності ENC, що створені на достовірній базі даних, в тому числі на підставі фактичного оновленого масиву глибин.

Підхід, методи та особливості досліджень. У роботі використаний системний підхід до розробки і впровадження методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин на SENC, який полягає в дослідженні об'єкта як цілісної множини елементів у сукупності відношень і зв'язків між ними, тобто розгляд об'єкта як системи. Ефективність системного підходу для даної роботи, насамперед, залежить від характеру застосовуваних загальносистемних закономірностей, що встановлюють зв'язок між системними параметрами. Такі закономірності тісно пов'язані між собою взаємообумовленими етапами, на яких здійснювалися різні дослідницькі дії. Авторами використовувалися такі загальнонаукові методи, як: ідеалізація, формалізація; аналіз; синтез; індукція; дедукція; прийняття гіпотез, узагальнення, методи колективної генерації ідей, сценаріїв і експертні методи.

Викладення основного матеріалу. У результаті аналізу міжнародних та національних вимог до сучасних засобів навігаційного забезпечення [2], аналізу функціонування Центру підготовки фахівців морського та річкового транспорту встановлено, що функціональні можливості Inland ECDIS, що складають інтерактивне управління елементами мультимедійного простору інтелектуального терміналу, повинні бути розширені додатковими елементами навігаційних завдань.

Внутрішні та зовнішні зв'язки при експлуатації інтелектуальної підсистеми складної динамічної системи (СДС) Inland ECDIS можна формалізувати у вигляді єдиної структурної моделі

$$M(R) = (G, \Omega, R), \quad M(G) = (G_i, G_j), \quad M(\Omega) = (\Omega_i, \Omega_j), \quad R = (\sum p), \quad \sum p = \sum_{i=1}^n p_i + \sum_{j=1}^k p_j, \quad (1)$$

де G – множина елементів, що утворюють інтелектуальну підсистему СДС;

G_i – множина елементів основних навігаційних завдань;

G_j – множина елементів додаткових навігаційних завдань;

Ω – режими роботи підсистеми (навігаційний Ω_i , інформаційний Ω_j);

$R = (\sum p)$ – набір правил, які встановлюють взаємовідношення зв'язків p в інтелектуальній підсистемі СДС.

Елементи включення складаються з різних класів перетворювачів [5]. Задаючи параметри можна обчислювати відповідні значення в залежності від конкретного аналітичного закону $F(t, C)$, з використанням t – параметру, що виконує розгортку з необхідним заданим кроком, і C – набору заданих *const*. Одновходові та одновихідні функціональні перетворення можна виразити у вигляді

$$y = \Psi(x, C). \quad (2)$$

Функціональні перетворення можуть бути з диференціальними, інтегральними членами або гібридні. Основна формалізація, що ґрунтується на інтегрально-диференціальних рівняннях, забезпечує ефективне системно-аналогове моделювання підсистеми СДС. Алгебраїчні співвідношення реалізуються через системи лінійних або нелінійних алгебраїчних співвідношень. Комплексна модель вирішення додаткових експлуатаційних навігаційних завдань визначається графами зв'язку та матрицями по кожному елементу включення.

У роботі розглядається один з елементів включення – автоматизований показ глибин та ізобат для дійсного рівня води. Структура функціонування системи P використання деталізованого масиву глибин при русі суден по судовому ходу показана на рис. 1.

$$P = \sum_{i=1}^{n=13} \bar{P}_i. \quad (3)$$

З аналізу рис. 1 випливає, що між кожними двома ознаками підсистем існує функціональна залежність, при якій кожному значенню одного з них відповідає одне або кілька суворо визначених значень другого

$$\forall (P_i ; P_j), \quad (4)$$

де $j = \exists ! \frac{i \cdot (i+1)}{2}$.



Рис. 1. Підсистеми використання деталізованого масиву глибин P_i

Відповідно до інтегральної ознаки Коші інтеграл $\int_{i=1}^{i=13} \binom{i}{m} dm$ існує і ряд сходиться, де $\binom{i}{m}$ – число комбінацій m , вибраних з i елементів.

Слід зазначити, що між окремими ознаками

$$\forall (P_i; P_j)^* \quad (5)$$

існує і кореляційна залежність, при якій зі зміною однієї ознаки P_i змінюється й інша P_j , і навпаки. Окремі ознаки (5) представлені у вигляді верхньої трикутної матриці M^* . (3),(5) $\Rightarrow M^*: n-5 \times n-5 \rightarrow m^*$.

$$\begin{pmatrix}
 (P_1; P_2) & (P_1; P_3) & (P_1; P_5) & (P_1; P_6) & (P_1; P_8) & (P_1; P_9) & (P_1; P_{10}) & (P_1; P_{11}) \\
 0 & (P_2; P_3) & (P_2; P_5) & (P_2; P_6) & (P_2; P_8) & (P_2; P_9) & (P_2; P_{10}) & (P_2; P_{11}) \\
 0 & 0 & (P_3; P_5) & (P_3; P_6) & (P_3; P_8) & (P_3; P_9) & (P_3; P_{10}) & (P_3; P_{11}) \\
 0 & 0 & 0 & (P_5; P_6) & (P_5; P_8) & (P_5; P_9) & (P_5; P_{10}) & (P_5; P_{11}) \\
 0 & 0 & 0 & 0 & (P_6; P_8) & (P_6; P_9) & (P_6; P_{10}) & (P_6; P_{11}) \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (P_8; P_9) & (P_8; P_{10}) & (P_8; P_{11}) \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (P_9; P_{10}) & (P_9; P_{11}) \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (P_{10}; P_{11})
 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Для аналізу підсистем P_i (рис. 1) застосовані методи колективної генерації ідей, сценаріїв і експертні методи. Так, при проведенні тренажерної підготовки судноводіїв в Центрі підготовки фахівців морського та річкового транспорту за напрямом «Використання електронних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ України» судноводіям було поставлене експлуатаційне завдання:

визначити і ввести поправку до глибин, позначених на ENC і традиційних річкових навігаційних картах на паперовій основі, за даними РІС на заданий район плавання, дату і час.

В результаті: жоден судноводій не зміг визначити і ввести поправку до глибин за незалежних від нього причин. Після цього проведене анкетне опитування судноводіїв. Проведена оцінка ідей підтвердила актуальність напрямів досліджень. У зв'язку зі значною кількістю альтернатив проведена їх попередня і перспективна класифікація.

При застосуванні методу сценаріїв виявлена невизначеність єдиної висотної основи з даними РІС, невідповідність систем відліку рівнів води за даними річкових навігаційних карт на паперовій основі, ENC, РІС і водомірних постів (ВП), невизначеність зони дії основних (опорних) водомірних постів. Такі невизначеності вводять в оману судноводіїв через помилки у визначенні поправок до фактичних глибин, що, безумовно, знижує ймовірність безпечного плавання. Слід враховувати, що для автоматизованого показу фактичних глибин на SENC в Inland ECDIS різниця висот миттєвого рівня в 2-х крайніх точках зони дії водомірних постів не повинна перевищувати половини точності вимірювання і нанесення глибин на карту [8]. Усунення наявної невизначеності можна здійснити тільки умовною розбивкою на зони k_3 у межах дії водомірних постів.

$$k_3 = \frac{2 \cdot (h_2 - h_1)}{m_{z0}} \Rightarrow h_2 - h_1 = \frac{k_3 \cdot m_{z0}}{2}, \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta z = \Delta z_f + \Delta z_{H3M} + \Delta z_\alpha + \Delta z_M, \quad h_2 - h_1 = \frac{k_3 \cdot m_{z0}}{2}, \\ m_{z0} = \sqrt{m_{H3M}^2 + m_{zM}^2}; \\ \Delta z_\alpha = z \cdot (\sec \alpha - 1); \quad tg \alpha = \frac{dz}{ds} = g, \\ \Delta z_M = R \cdot tg \alpha; \\ m_{zM} = \frac{1}{\sqrt{2}} M \cdot tg \alpha, \quad M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}, \quad \forall M \stackrel{def}{=} \delta_K, \end{array} \right. \quad (8)$$

де $h_2 - h_1$ – різниця перевищень миттєвого рівня між постами;
 m_{z0} – загальна погрішність глибини, показаної на карті;
 Δz – поправка до вимірної глибини;
 Δz_f – поправка глибин на рівень води;
 Δz_{H3M} – поправка засобу вимірювання (ехолота);
 Δz_α – поправка на уклон дна річки;
 Δz_M – поправка до глибини з урахуванням похибки визначення місця;
 m_{z0} – загальна погрішність глибини, показаної на карті;
 m_{H3M} – загальна погрішність вимірювання глибини;
 m_{zM} – загальна погрішність вимірювання глибини, пов'язаними з точністю визначення місця судна;
 z – вимірjana глибина;
 α – кут уклону річки;
 s – відстань між рівневими постами;
 g – градієнт функції;
 R – величина відхилення при визначенні місця;
 M – СКП визначення місця глибини;
 M_1 – СКП визначення місця глибини під час руху судна;
 M_2 – СКП нанесення глибин на карту;
 δ_K – точність карти.

На підставі структурної декомпозиції підсистеми P_5 (рис. 1) та її оцінки за результативністю та оперативністю також виявлені невизначеності (відсутня інформація значення нуля глибин в абсолютній системі відліку, не сформовані критерії судноплавства та інше).

Для генерування альтернатив скористаємося абстрактним рівнем опису окремих функцій підсистеми P_9 , використовуючи модель «чорного ящика» (рис. 2). Підсистема P_9 , яку символізує «чорний ящик», відособлена, тобто виділена з середовища, але не є повністю ізольованою, а пов'язана з зовнішнім середовищем через сукупність входів і виходів. Виходи моделі «чорного ящика» описують результати діяльності підсистеми, а входи – ресурси і обмеження.

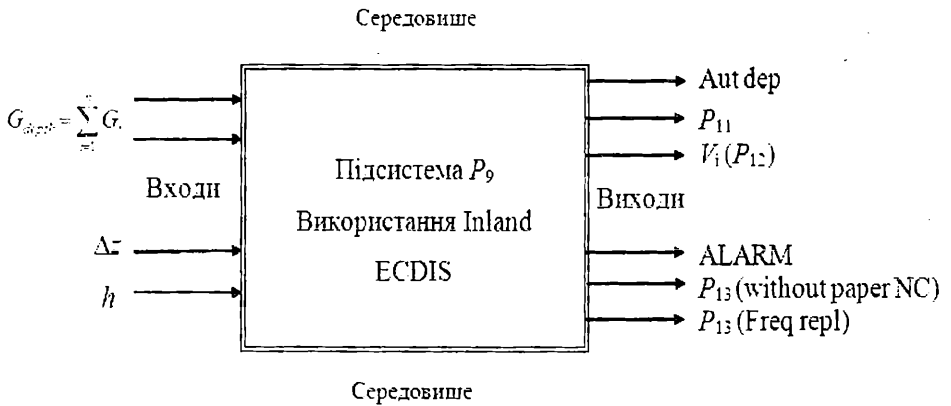


Рис. 2. Модель «чорного ящика» підсистеми P_9 :

G_{depth} – ресурси і обмеження використання деталізованого масиву глибин

Перейдемо до обґрунтування використаної методології системної оптимізації [1] і стратегії використання деталізованого масиву глибин при експлуатації Inland ECDIS. Розглянемо деталізований масив глибин у вигляді множини $\{R_{\Delta h}, R_S\}$, зображеної на рис. 3.

На рис. 3 вісь ординат – значення $\Delta h = h_2 - h_1$ (різниця миттєвих рівнів води в початковій і кінцевій точці зони дії водомірного поста), вісь абсцис – значення S (зона дії водомірного поста на судновому ході). Далі керуємося виразом (8).

Так, знизу множина $\{R_{\Delta h}, R_S\}$ обмежена віссю абсцис S , при цьому точкам $R_{\Delta h} = 0, R_S = 0$ відповідає очевидна ситуація $S = S_{\min} = 0 \Rightarrow \Delta h = 0$.

Права границя множини $\{R_{\Delta h}, R_S\}$ відповідає неймовірній, але можливій ситуації $R_S = S_{\max}$, при якій обмежена зона дії водомірного поста і яка визначає межу функціональної здійсненності банку даних глибин.

Зверху множина обмежена кривою $R_{\Delta h}(R_S)$, причому $\sup[R_{\Delta h}(R_S)] = R_{\Delta h \Pi}$, де $R_{\Delta h \Pi}$ – потенційне значення функціонального результату $\Delta h = h_2 - h_1$. Асимптотичне поведіння $R_{\Delta h}(R_S)$ відображає відомий факт, що збільшення R_S вимагає збільшення $R_{\Delta h}$.

Кожній точці множини $\{R_{\Delta h}, R_S\}$ у загальному випадку відповідає множина еквівалентних значень $R_{\Delta h}$ і R_S , які відрізняються своїми структурними й поведінковими особливостями.

Умовам $R_{\Delta h} = R_{\Delta h \text{ обр}} = \text{const}$ і $R_S = R_{S \text{ обр}} = \text{const}$ відповідає множина можливих варіантів, значення $R_{\Delta h}$ і R_S яких належать відповідно множинам $M_1 = \{R_{\Delta h}, R_S\} \cap R_{\Delta h \text{ обр}}$ і $M_2 = \{R_{\Delta h}, R_S\} \cap R_{S \text{ обр}}$.

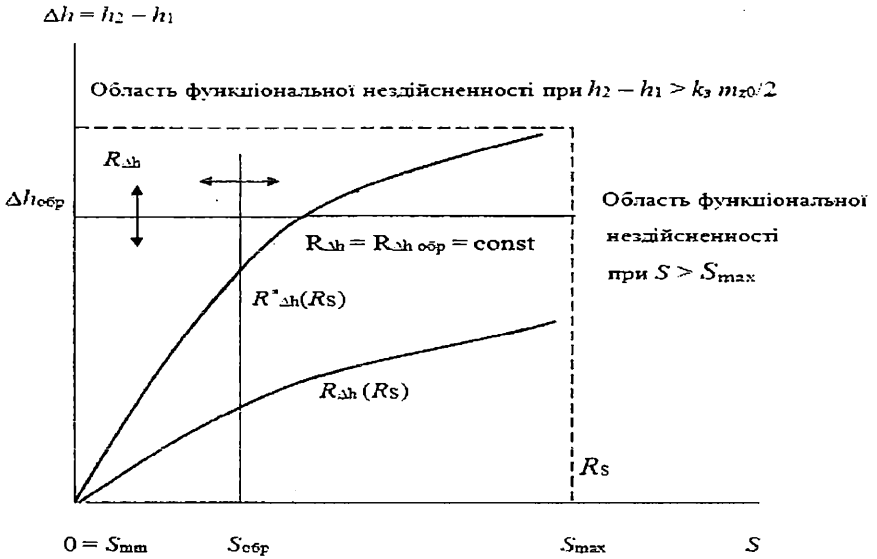


Рис. 3. Співвідношення функціональних показників $\Delta h = h_2 - h_1$ і S

Очевидно, що ці варіанти не еквівалентні. Кращі з цих варіантів характеризуються відповідно умовами $R_{\Delta h\text{обр}}$, $R_S = \inf M_1$; $R_{S\text{обр}}$, $R_{\Delta h} = \sup M_2$ і належать в обох випадках границі $\{R^*_{\Delta h}, R_S\}$ розглянутої множини $\{R_{\Delta h}, R_S\}$.

Зазначимо, що незалежно від того, чи шукається $\inf M_1$ при $\text{var} R_{\Delta h}$ або $\sup M_2$ при $\text{var} R_S$, результат буде мати вигляд сукупності кращих варіантів, що відповідають $R^*_{\Delta h}(R_S)$. Цей результат не зміниться, якщо шукати кращі варіанти не при $R_{\Delta h} = R_{\Delta h\text{обр}}$ ($R_S = R_{S\text{обр}}$), а при $R_{\Delta h} < R_{\Delta h\text{обр}}$ ($R_S < R_{S\text{обр}}$). Таким чином, при обмеженнях, як у вигляді рівностей, так і у вигляді нерівностей, кращі варіанти відповідають точкам $R^*_{\Delta h}(R_S)$ – границі області обмежень.

Якщо зафіксувати $R_{\Delta h}$ відповідно до деякого значення R_S , тоді значенню $R_S + \Delta R_S$ ($\Delta R_S > 0$) має відповідати $R_{\Delta h} + \Delta R_{\Delta h}$ ($\Delta R_{\Delta h} > 0$), тому що в іншому разі рівню $R_S + \Delta R_S$ буде відповідати безумовно гірший варіант, ніж для рівня R_S . При $S > S_{\max}$ (збільшення зони дії ВП) починається область функціональної нездійсненності.

Залежність $R^*_{\Delta h}(R_S)$ у загальному випадку має конкретний вигляд і положення на площині визначається значеннями $K(U)$. Очевидно, чим значніший вплив середовища, що заважає, й жорсткіші обмеження, обумовлені вектором параметрів K , тим нижче розташована крива $R^*_{\Delta h}(R_S)$. Якщо зафіксувати параметри K й U на граничному рівні, то визначиться $R_{\Delta h}(R_S) = \text{irc } R^*_{\Delta h}(R_S)$.

Ця залежність може бути використана як нижня границя множини $\{R_{\Delta h}, R_S\}$ замість осі абсцис. Зараз безпосередньо перейдемо до суті основних етапів методології системної оптимізації.

1. На рівні елементів підсистем P_i (рис. 1) формується множина припустимих їх варіантів. Ці завдання вирішуються одним з таких способів:

а) проводиться оптимізація елементів підсистем P_i у рамках зазначеної на рис. 3 біфакторної $(R_{\Delta h}, R_S)$ постановки завдань оптимізації при застосуванні встановлених обмежень. При цьому, завдання оптимізації вирішується багаторазово для їх різних рівнів. Таким чином, різні рівні застосованих обмежень представляють собою в сукупності сітку в області можливого їх варіювання. Оскільки обмеження можуть бути й у вигляді рівностей, тому для завдань $\text{extr} R_{\Delta h} \forall R_S = R_{S\text{обр}}$, $\text{min} R_S \forall R_{\Delta h} = R_{\Delta h\text{обр}}$ застосовується використання обчислювального інтелекту, засноване на «нечіткій» логіці, тобто система наближених обчислень залежить лише від простоти відповідного рішення;

б) проводиться аналіз можливих принципів функціонування елементів підсистем P_i (рис. 1) з оцінкою показників $R_{\Delta h}, R_S$.

2. У рамках біфакторного завдання оптимізації вирішується завдання оптимального вибору структури функціонування параметрів підсистем P_i зі сформованою множиною припустимих її елементів. Результатом такої оптимізації є впорядкована (домінуюча) послідовність $\Delta z = f(h_2 - h_1)$, для якої характерне перевищення значень $R_{\Delta h}$ за рахунок росту R_S відносно попереднього члена домінуючої послідовності.

3. У рамках завдання оптимізації визначається рівень функціональної ефективності системи P . Розглядаються цільові функції математичних уявлень, залежності критеріїв оптимальності від потрібних змін підсистем P_i , а як обмеження – функціональна ефективність отримання фактичних глибин для забезпечення безпеки руху суден. Розглянемо рис. 4. Цільова функція

$$\Delta z_M = f(d, \alpha, \beta),$$

де d – відстань між точками A і B ($d = S / k_{3i}$);

α' – кут нахилу дна у напрямі $A'B'$;

α – максимальний кут нахилу дна;

β – кут між напрямом $A'B'$ і напрямом максимального нахилу.

$$\Delta z_M = B'B'' = d \text{tg } \alpha' = d \text{tg } \alpha \cdot \cos \beta, |d| = M_{\text{ОПР}}$$

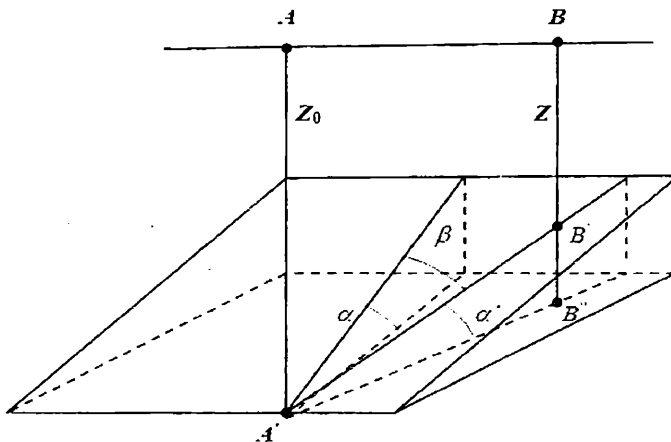


Рис. 4. Пояснення елементів цільової функції $\Delta z_M = f(d, \alpha, \beta)$

Розглянемо цільову функцію поправок до глибини з урахуванням похибки визначення місця судна [8]

$$\Delta z_M = f(d, \alpha, \beta) \Rightarrow \Delta z_M = d \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \beta, \quad \Delta z_M = d \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \beta, \quad (9)$$

де α – відома величина, що розраховується з SENC;

d і β – невідомі величини.

Вираз (9) – складна функція, задана неявно. Нехай в точці A виміряна глибина $AA' = z_0$. В результаті похибки у визначенні місця судна вона буде віднесена до точки B , де фактична глибина $BB' = z$. Таким чином, в результаті похибки визначення місця судна виникає похибка у визначенні глибини, d і β носять випадковий характер.

$$m_{z_M} = \frac{1}{\sqrt{2}} M \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}, \quad m_{z_0} = \sqrt{m_z^2 + m_{z_M}^2},$$

де m_{z_0} – загальна похибка глибини, показаної на карті;

m_z – загальна похибка вимірювання глибини;

m_{z_M} – загальна похибка вимірювання глибини, пов'язана з точністю визначення місця судна.

Знайдемо екстремальні значення цільової функції (9), які визначаються вирішенням диференціального рівняння

$$(\Delta z_M)' = \operatorname{tg} \alpha \cdot (M_{\text{ОПР}} \cdot \cos \beta)' = \operatorname{tg} \alpha [M_{\text{ОПР}}' \cdot \cos \beta + M_{\text{ОПР}} \cdot (\cos \beta)'] .$$

$$\begin{cases} M'_{OPP} \cdot \beta \cdot \cos\beta = 0, \\ M_{OPP} \cdot (\cos\beta)' = 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M'_{OPP} = 0, & \beta = 90^\circ, \\ M_{OPP} \cdot \beta \cdot (-\sin\beta) = 0, & \beta = 0. \end{cases}$$

Вважаючи відхилення точок щодо лінії максимального нахилу дна рівноімовірними, отримаємо $\beta_{cp} = 45^\circ$.

$$(\Delta z_M)' = 0 \Rightarrow \begin{cases} M_{OPP \min} = 0, \\ M_{OPP \max} = 5M, \\ \beta_1 = 0^\circ, \quad \beta_2 = 90^\circ, \quad \beta_{CP} = 45^\circ, \end{cases} \quad \text{при } P = 95 \%.$$

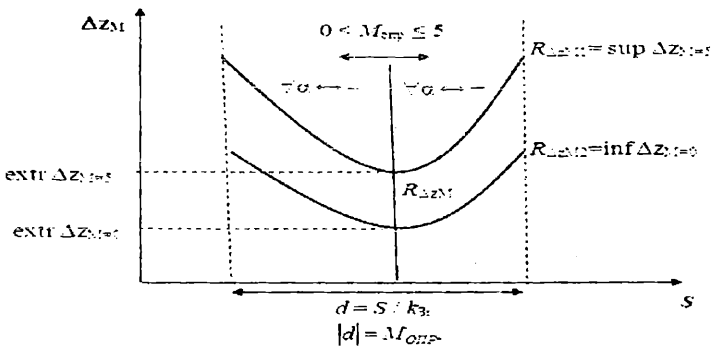


Рис. 5. Оптимізація параметрів множини $R_{\Delta z_M}$

На рис. 5 зображені залежності, що характеризують збільшення або зменшення значень множини $R_{\Delta z_M}$ залежно від рельєфу дна і точності визначення місця судна в межах $0 < M_{опр} \leq 5$ м;

$$R_{\Delta z_M 2} = \inf \Delta z_{M=0} \leq R_{\Delta z_M} \leq R_{\Delta z_M 1} = \sup \Delta z_{M=5}.$$

Області множини

$$R^{(2)}_{\Delta z_M} < R_{\Delta z_M 2} = \inf \Delta z_{M=0} \text{ та } R^{(1)}_{\Delta z_M} > R_{\Delta z_M 1} = \sup \Delta z_{M=5}$$

є зонами функціональної нездійсненності.

4. Визначення доцільності використання потрібних змін та обмежень підсистем P_i здійснювалося з визначених на третьому етапі значень $\text{var } E_{\Delta z} \in R_{\Delta z}$, які зіставлялися з обмеженнями $\sup E_{\Delta z} \vee \inf E_{\Delta z}$.

Елементи $\text{var } E_{\Delta z}$ визначалися за результатами 2-го етапу (конкретна структура, стратегія використання й параметри змін до підсистем P_{ij}), а згідно з результатами 1-го етапу – характеристики їх елементів.

5. На заключному етапі оптимізації проводився аналіз чутливості $\text{var}E_{\Delta z}$ до зміни параметрів елементів, каналів і підсистем P_i з метою визначення тих, удосконалення яких може призвести до істотного збільшення ефективності використання Inland ECDIS.

Особливостями викладеної методології є подолання багатокри-теріальності оптимізаційних завдань, визначення їх обсягу і якості, обґрунтування змін до підсистем P_i , зниження рівня суб'єктивізму й підвищення частки формальних прийомів при постановці й вирішенні оптимізаційних завдань, подолання ряду невизначеностей, які неминучі при використанні принципів системного підходу тощо. Найбільш специ-фічний характер мали методи, використовувані на другому й третьому етапах.

Невизначеність об'єктів навігаційної небезпеки в районі судно-вого ходу пов'язана насамперед з рухомими границями [5], змінами рівня води в умовах критичних природних явищ. Бази даних Inland ECDIS відображають необхідні шари територіального застарілого деталізованого масиву глибин у просторі навігаційного обслуговування. Існуюча невиз-наченість геометричних характеристик обумовлює потребу у визначені цільової безпечної області навігації у поточній ситуації.

Нехай S_0 – початкова форма геометричного об'єкта навігації (в зоні дії ВП) з системою базових координат на площині $X_0O_0Y_0$ (рис. 6).

Геометрична форма S_0 відрізняється від поверхневого картогра-фічного шару SENC Inland ECDIS з реальним контуром берегів та глибин. Така розрахункова модель спрощено відображує особливості, які не вра-ховуються в процесі розв'язку поточних задач навігації. S_0 – умовно замкнений багатокутник, що входить до робочої зони дії водомірного поста. Особлива властивість S_0 полягає у її ефективності для безпечного руху суден, оскільки дозволяє враховувати глибини та реальну осадку у поточній ситуації. S_0 може бути описана у пам'яті Inland ECDIS у вигляді

$$G_0 = \left\langle \{S_0\}, \{m_0, m_z\}, \{P_0\} \right\rangle, \quad (10)$$

де $\{S_0\}$ – ідентифікатор базової моделі з заданою геометричною конфігу-рацією багатокутника, що моделює реальний об'єкт;

$\{m_0, m_z\}$ – метричні характеристики базового геометричного об'єкта (координати вершин багатокутника, нуль глибин в абсолютній системі відліку);

$\{P_0\}$ – положення системи координат ENC (x_0, y_0) відносно системи координат SENC (x_{01}, y_{01}) при різних видах встановленої орієнтації.

Вираз (10) містить усі необхідні дані, які передбачають викорис-тання робочої базової моделі при розв'язанні цілого класу задач навіга-ції, включаючи геометричне розташування деталізованого масиву глибин.

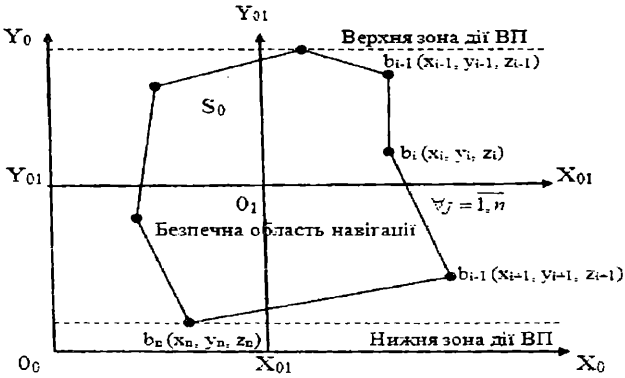


Рис. 6. Розрахункова S_0 модель n -кутника, що моделює реальний об'єкт судноводіння в межах дії водомірного поста

S_0 – верхня грань об'ємної тривимірної (3D) фігури. Координата Z_0 з координатами X_0, Y_0 характеризує базову глибину границь зони дії ВП. Вираз $\{m_0, m_z\}$ складається через послідовність $(x_i, y_i, z_i), \forall i = \overline{1, n}$.

S_0 заповнюється значеннями реальних навігаційних глибин, що відповідають параметрам (10)

$$G_i = \left\{ \{S_j\}, \{m_j, m_z\}, \{P_j\} \right\}, \quad \forall j = \overline{1, m}. \quad (11)$$

Якщо вираз (11) відповідає фактичним глибинам з урахуванням автоматизованого введення поправок, тоді $G_0 - \sum_{i=1}^m G_j = G_g > 0$ буде на заданому часовому інтервалі T безпечною зоною плавання для суден з заданими габаритами та осадкою. $G_g(t)$ залежить від природних факторів для часу (t) відносно умовно експлуатаційного рівня t_0 .

Під дією природних факторів у зоні дії водомірного поста змінюється навігаційна область небезпеки $S_0 \rightarrow S_{\text{НОН}}(t)$, тоді можна отримати множину для безпечної області навігації

$$S_{\text{БОН}}(t) = S_0 - S_{\text{НОН}}(t), S_0 = \text{const.}$$

Множини $S_{\text{НОН}}(t)$ і $S_{\text{БОН}}(t)$ умовно не перетинаються. Умови

$$\{S_0 = S_{\text{БОН}}(t) \cup S_{\text{НОН}}(t); S_{\text{БОН}}(t) \cap S_{\text{НОН}}(t) = 0; \forall i \in I, \forall j \in J\}.$$

Зона безпечного плавання в зоні дії ВП формується з урахуванням геометричних позицій усіх складових множин $S_{\text{НОН}}(t)$. Навігаційні глибини з урахуванням поправок відомі на конкретний час t_{i-1} , тоді

$$G_k(t_{i-k}) = \left\{ \{S_k(t_{i-1})\}, \{m_k(t_{i-1}), m_{zk}(t_{i-1})\}, \{P_k(t_{i-1})\} \right\}.$$

Якщо в Inland ECDIS від датчиків інформації не надійшли нові дані, включаючи інформацію про нуль глибин, тоді $G_k(t_{i-1}) \equiv G_k(t_{i-1})$ незалежно від кроку $t_i - t_{i-1}$ спостереження довкілля $\forall G_k(t) \in S_0$.

Головними геометричними параметрами безпечної області навігації є значення метричних характеристик габаритної смуги руху [1]. Своєчасне відображення на SENC даних про стан глибин впливає на рівень безпеки судноводіння в стислих умовах реального плавання. Висока точність знання параметрів габаритної смуги руху необхідна особливо в судноплавних каналах, підходах до річкових портів та терміналів, мілководних районах з похилим рельєфом дна. Навігаційні глибини разом з прохідними осадками суден визначаються разом з оцінками точності довірчих інтервалів похибок вимірювання первинних параметрів, включаючи дані GPS. У загальному випадку судновий хід може мати декілька безпечних областей навігації.

Запропоноване геометричне моделювання функціональних нелінійних задач навігації внаслідок впливу факторів навколишнього середовища знімає невизначеність безпечних областей навігації. Існуюча картографічна система Inland ECDIS стає більш точною, достовірною та адекватною.

Зняття невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин у n -мірному просторі при русі судна описуємо у вигляді диференціально-інтегральних рівнянь.

Поведінка цілісної моделі S визначається як послідовність станів у неперервному інтервалі системного часу. Кожний з можливих експлуатаційних станів має поточну тривалість часу

$$t_{0i} \leq t_i \leq t_{0j} + T_i. \quad (12)$$

Зміна ситуацій $S_i \rightarrow S_j$ за стислий перехідний момент часу визначається як дискретний процес відповідно до логіко-динамічного алгоритму переходу згідно з фіксованими умовами поведінки. Використовуємо системи координат:

XOY – висотна система координат SENC в абсолютній системі висот;

X_1O_1Y – висотна система координат відносно нуля глибин ВП.
 $H_0 \in y(0) = 0;$

X_2O_2Y – висотна система координат відносно рівня води 1ВП.
 $h_1 \in y(0) = 0;$

$y = f(x)$ – функція ($n = 1$) зміни рівня води у системі координат $X_2O_2Y;$

$z = f(x, y)$ – функція ($n = 2$) зміни рівня води у системі координат $X_2O_2Y.$

На всіх системах координат визначасмо верхній M (ВСР) і нижній m (НСР) судноплавні рівні.

Розв'язання задачі щодо зняття невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку для автоматизації засобів електронно-картографічної навігації потребувало її декомпозиції на ряд окремих кроків і визначення відповідних математичних прийомів для їх вирішення.

Крок 1. Для знаходження поправок до вимірних глибин, що змінюються за часом t_i , спочатку доцільно використовувати рухоми відносну систему координат X_2O_2Y відносно рівня води ІВП за умови:

– $h_1 \in y(0) = 0, y_{x_2} \geq 0$, тобто $O_2 \in X_2O_2Y$ – миттєвий рівень води ІВП;

– зміни по вісі абсцис $X_2 \equiv x(t) \Leftrightarrow y(t)$ є функцією часу;

– положення точок на $y = f(x)$ залежать від різниці показів миттєвих рівнів води ВП і положення судна у зоні їх дії.

Функція $y = f(x) = F(x(t))$ є:

– складною функцією від t , причому за правилом диференціювання складної функції $(x(t))' = x'(t)'$;

– неявною функцією, що задана виразом $F(x, y) = 0$ при $F(x, f(x)) \equiv 0$.

Слід зазначити, що у системі координат X_2O_2Y x і y задані функціями від змінної t : $x = x(t), y = y(t)$, тобто вираз $y = y(x)$ є параметрично заданою функцією в інтервалі $x \in (O_2; E)$. У цьому інтервалі рівняння $x = x(t)$ можна виразити у вигляді $t = t(x)$ і визначити функцію $y = y(t(x)) = y(x)$.

З огляду на вищезазначене вираз $y = f(x)$ можна представити у вигляді диференціального рівняння першого порядку $x \cdot y' = y$. Обчислимо загальний інтеграл

$$y' = \frac{dy}{dx} \Rightarrow x \cdot \frac{dy}{dx} = y \Rightarrow \frac{dy}{y} = \frac{dx}{x} \Rightarrow \int \frac{dy}{y} = \int \frac{dx}{x} \Rightarrow \ln|y| = \ln|x| + C \Rightarrow \ln|y| = \ln|x| + \ln|C|.$$

Загальне вирішення функції представлено у явному вигляді

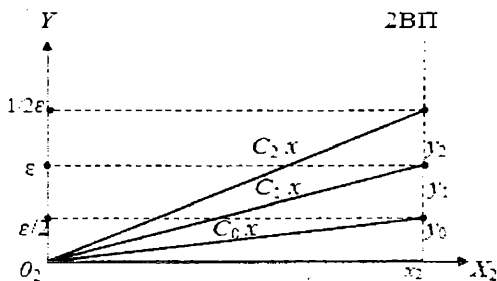
$$y = Cx. \tag{13}$$

$C = const$, за умови $|y_n| \leq \varepsilon / 2 \vee C \neq const$, за умови $|y_n| > \varepsilon / 2$

Надаючи C різні значення $\{C_0, C_1, C_2 \dots C_n\}$, можна отримати в SENC достатню послідовність окремих рішень диференціального рівняння для відображення деталізованого банку глибин при русі судна (рис.7).

Таку множину функцій можна реалізувати в Inland ECDIS за допомогою матричного обчислення.

У неперервному інтервалі системного часу (12) у межах дискретного процесу згідно з фіксованими умовами поведінки однієї змінної x отримуємо: (13) $\neq C = const \Rightarrow z_i - z_j = const$ при обмеженнях по (8).



$$C_0x \neq C_1x \neq C_2x \neq \dots C_nx.$$

$$y_0 = y_1 = y_2 = \dots y_n = \varepsilon/2.$$

$$C_0 = 0 \Rightarrow C = 0 \Rightarrow y = 0.$$

$$\forall C_n \exists ! C \in \{C_0, C_1, C_2 \dots C_n\}$$

$$C_0 = const, \text{ за умови } |y_0| \leq \varepsilon/2$$

$$C_1 = const, \text{ за умови } |y_1| \leq \varepsilon/2$$

$$C_2 = const, \text{ за умови } |y_2| \leq \varepsilon/2$$

$$C_n = const, \text{ за умови } |y_n| \leq \varepsilon/2$$

Рис. 7. Графічне пояснення коефіцієнта C

Крок 2. Використовуємо систему координат X_2O_2Y . Слід зазначити, що на практиці різниця показів рівнів води по ВП $z_i - z_j \neq const$. З урахуванням того, що прирости змін функції є двома незалежними змінними (рух судна і різниця показів ВП), то зміни точок по осях абсцис і ординат описуються функцією двох незалежних змінних $z = f(x, y)$ з фіксованою декартовою системою координат.

Припустимо, що її аргументи x і y отримують прирости Δx і Δy , тоді функція $z = f(x, y)$ отримує повний приріст

$$\Delta z = f(x + \Delta x, y + \Delta y) - f(x, y).$$

Геометрично повний приріст Δz дорівнює збільшенню аплікати графіка функції $f(x, y)$ при переході від точки $B(x, y)$ у точку $B^{(1)}(x + \Delta x, y + \Delta y)$. Функція $z = f(x, y)$ є диференційованою в точці $B(x, y)$, так як її повний приріст Δz можна представити у вигляді

$$\Delta z = B_1(x, y)\Delta x + B_2(x, y)\Delta y + 0(\rho),$$

де $\rho = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$, $0(\rho)$ – нескінченно мала величина вищого порядку.

Враховуючи, що функція $z = f(x, y)$ диференційована в цій точці, за повний диференціал приймемо $dz = B_1(x, y)\Delta x + B_2(x, y)\Delta y$.

$$\begin{cases} z = f(x, y), \\ dx = \Delta x, \\ dy = \Delta y. \end{cases} \Rightarrow \Delta z \approx dz + f'_x(x, y)dx + f'_y(x, y)dy,$$

$$f(x + \Delta x, y + \Delta y) \approx f(x, y) + dz = f(x, y) + f'_x(x, y)dx + f'_y(x, y)dy. \quad (14)$$

Функція $z = f(x, y)$ у системі координат X_2O_2Y є складна функція,

тоді

$$\begin{cases} \begin{cases} x = \varphi(t), \\ y = \psi(t) \end{cases} \Rightarrow z = f(x(t), \psi(t)) \Rightarrow \frac{dz}{dt} = \frac{\partial z}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial z}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt} \Rightarrow \\ \Rightarrow y = \varphi(x) \Rightarrow z = f(x, \varphi(x)) \Rightarrow \frac{dz}{dx} = \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dx}. \end{cases} \quad (15)$$

Використовуючи властивість інваріантності формули повного диференціала, отримуємо

$$dz = \frac{\partial z}{\partial x} dx + \frac{\partial z}{\partial y} dy. \quad (16)$$

Таким чином, виходячи з виразів $z = f(x, y)$, (13), (16) і рис. 7 загальне рішення диференціального рівняння першого порядку з двома змінними ($n = 2$) матиме вигляд

$$X_2 O_2 Y \Rightarrow z = Cx(t) + k\delta h(t)x(t) = k(\overline{C + \delta h(t)}) \cdot x(t), \quad \delta h_i \equiv \delta(h_2 - h_1), \quad (17)$$

де δh_i – миттєва різниця рівнів води по ВП у системі координат $X_2 O_2 Y$.

$$k = \begin{cases} 0, & \text{при } |\Delta h_i| \leq \frac{\varepsilon}{2}; \\ \text{round} \frac{2 \cdot |\Delta h_i|}{\varepsilon}, & \text{при } |\Delta h_i| > \frac{\varepsilon}{2}, \quad m(\text{HCP}) < k \cdot (C_i + \Delta h_i)x_i < M(\text{BCP}). \end{cases}$$

Крок 3. Перейдемо до знаходження поправок h до вимірних глибин, що змінюються за часом t_i , у відносній системі координат $X_1 O_1 Y$.

Центр O_1 системи координат $X_1 O_1 Y$ є нуль глибин 1ВП на осі суднового ходу. Причому нулі глибин 1ВП і 2ВП співпадають. Положення рухомої системи координат $X_2 O_2 Y$ змінюється відносно $X_1 O_1 Y$ тільки по осі ординат Y . У даному випадку ($n = 3$) функція трьох змінних $h = f(x, y, z)$ з фіксованою декартовою системою координат належить до точок площини $X_1 O_1 Y$. Аналогічно до кроків 1, 2 визначимо загальне рішення функції $h = f(x, y, z)$

$$X_1 O_1 Y \Rightarrow h = (\overline{C + k\delta h(t)}) \cdot x(t) + h_1(t), \quad (18)$$

де h_1 – миттєвий рівень води по 1ВП у системі координат $X_1 O_1 Y$;

δh_i – миттєва різниця рівнів води по ВП у системі координат $X_1 O_1 Y$;
 $\delta h_i = (X_2 O_2 Y \cap X_1 O_1 Y) : (X_2 O_2 Y \subseteq X_1 O_1 Y)$.

Крок 4. Розглянемо поведінку функції трьох змінних $h = f(x, y, z)$ у системі координат карти XOY . Обов'язкові умови, які повинні витримуватися:

висотна основа ENC в абсолютній системі висот повинна бути єдиною;

$$\text{dom} \forall R \in Y(0) = \text{const};$$

система координат $X_1 O_1 Y$ нерухома відносно $XOY \supseteq X_1 O_1 Y$;

$$\text{dom} (h = f(x, y, z)) \in X_1 O_1 Y \wedge XOY;$$

$$\bar{Y} = X_1 O_1 Y \cap XOY, \quad \underline{Y} = X_1 O_1 Y \cap XOY, \quad \text{при умовах } Y \leq \bar{Y}, Y \geq \underline{Y}.$$

Враховуючи вищевикладене, використовуючи вираз (18) і встановлені обмеження $0 < M_{\text{опр}} \leq 5$ визначаємо формулу для усунення невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин у n -мірному просторі при русі судна

$$X \text{ OY} \Rightarrow h(t) = k \overline{(C + \delta h(t))} \cdot x(t) + h_1(t), \quad (19)$$

Вираз (19) визначає диференціальні поправки $h(t)$ до вимірних глибин, які позначені на SENC, і може служити основою для їх автоматизованого визначення.

Для інтелектуальної обробки потоку даних застосовані символічно-формалізовані перетворення Лапласа з використанням наступних властивостей:

$$f(t) \xrightarrow{L} F(p) = \begin{cases} p \cdot F(p) - f(0), \\ \mu \cdot F(\mu \cdot p), \\ e^{-p \cdot t} F(p), \\ F(p + p_0) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-(p+p_0)t} dt. \end{cases} \quad (20)$$

Далі вираз (19) представимо у вигляді двох незалежних змінних, пов'язаних часом t : $f(t) = f_1(t) + f_2(t)$.

Перетворення першої складової $f_1(t)$. Використовуючи вираз лінійності потоку даних (20), вирішимо систему лінійних рівнянь з постійними коефіцієнтами із застосуванням операційного методу.

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = A\bar{y} + \bar{f}(t), \quad \bar{y} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{Bmatrix}, \quad \bar{f}(t) = \begin{Bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{Bmatrix}, \quad A = \begin{Bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{Bmatrix}, \quad 0 \leq t \leq +\infty,$$

де A – матриця $n \times n$ стану об'єкта (динамічна матриця об'єкта).

$$\text{Задаємо початкові дані у вигляді вектора } \bar{y}(0) = \bar{q}, \quad \bar{q} = \begin{Bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_n \end{Bmatrix}.$$

$$f_k(t) \xrightarrow{L} \tilde{f}_k(p) \Rightarrow y_k(t), y'_k(t) - \text{оригінали.}$$

$$y_k(t) \xrightarrow{L} \tilde{y}_k(p), \quad y'_k(t) \xrightarrow{L} p \cdot \tilde{y}_k(p) - y_k(0) = p \cdot \tilde{y}_k(p) - q_k.$$

$$p \cdot \tilde{y}_k(p) - q_k = a_{k1} \tilde{y}_1(p) + a_{k2} \tilde{y}_2(p) + \dots + a_{kn} \tilde{y}_n(p) + \tilde{f}_k(p), \quad k=1, 2 \dots n.$$

Зображення, зібрані в єдиний стовпець

$$\tilde{y}(p) = \begin{Bmatrix} \tilde{y}_1 \\ \vdots \\ \tilde{y}_n \end{Bmatrix}, \quad \tilde{f}(p) = \begin{Bmatrix} \tilde{f}_1(p) \\ \vdots \\ \tilde{f}_n(p) \end{Bmatrix},$$

$$p \cdot \tilde{y}(p) - \tilde{q} = A \cdot \tilde{y}(p) + \tilde{f}(p), \quad \tilde{y}(p) = (p \cdot E - A)^{-1} \cdot (\tilde{f}(p) + \tilde{q}),$$

де E – одинична матриця.

По $\tilde{y}_k(p)$ знаходимо $y_k(t)$

$$y_k(t) = L\{\tilde{y}_k(p)\} = (p \cdot E - A)^{-1} \cdot (\tilde{f}(p) + \tilde{q}) \quad (21)$$

Вираз (21) є матрична передаточна функція потоку даних від ВП. Матриця $(pE-A)$ – характеристична матриця для матриці стану A . Її визначник $\det(pE-A)$ є степеневий поліном змінної Лапласа p порядку n .

$$y_k(t) = \frac{1}{\det(pE-A)} S(p) \cdot B, \quad B = x, \quad (22)$$

де $S(p)$ – adj (союзна матриця) для $(pE-A)$ з урахуванням заданого вектора.

$$S(p) = \|\tilde{f}_{n,1}\| + \|q_{n,1}\| \quad (23)$$

Матрична передавальна функція $y_k(t)$ являє собою прямокутну матрицю розмірності $m \times n$. Кожен елемент цієї матриці є скалярна передавальна функція від входу до виходу (рис. 8). Усі скалярні передавальні функції мають один і той же характеристичний поліном. Тому аналіз потоку даних від ВП зводиться до аналізу коренів цього полінома.

Перетворення складової $f_2(t)$

$$f_2(t) \xrightarrow{L} F_2(p) \Rightarrow F_2(p) = \int_0^{\infty} f_2(t) \cdot e^{-pt} dt = \int_0^{\infty} (y_{01ВП} + \delta y_{01ВП}(t)) \cdot e^{-pt} dt = y_{01ВП} \int_0^{\infty} e^{-pt} dt + \int_0^{\infty} \delta y_{01ВП}(t) dt$$

$$e^{-pt} \Big|_{t=0}^{0+\infty} = 1, \quad y_{01ВП} \int_0^{0+\infty} e^{-pt} dt = y_{01ВП} + h_{10}, \quad \int_0^{\infty} \delta y_{01ВП}(t) dt \equiv \|(\delta y_{01ВП})_{i,1}\|, \quad h_{10} = h_{20} \cdot y_{01ВП} = y_{02ВП}$$

$$f_2(t) = y_{01ВП} + h_{10} + \|(\delta y_{01ВП})_{i,1}\|,$$

де $y_{01ВП}$ – нуль глибин 1ВП;
 $\delta y_{01ВП}$ – миттєвий рівень води відносно $y_{01ВП}$;
 $\|(\delta y_{01ВП})_{i,1}\|$ – матриця-стовпець змін $\delta y_{01ВП}$;
 h_{10} – можливі зміни $y_{01ВП}$ відносно абсолютної системи координат;
 $y_{01ВП} = y_{02ВП}$, $h_{10} = h_{20} = \text{const}$.

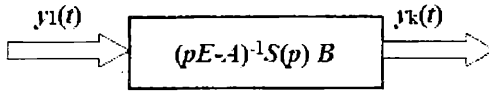


Рис. 8. Скалярна передаточна функція від входу до виходу

Одержуємо повний вираз для отримання диференціальних поправок $h(t)$ до виміряних глибин, які позначені на SENC

$$h(t) = \frac{1}{\underbrace{\det(pE - A)}_{(C)_{i,j}}} S(p) \cdot B + \underbrace{y_{01ВП} + h_{10}}_{const} + \|(\delta y_{01ВП})_{i,1}\|.$$

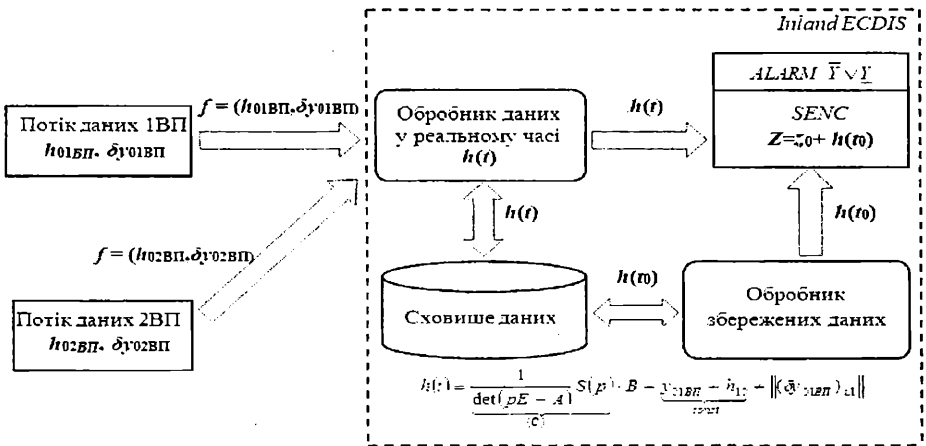


Рис. 9. Концептуальна модель системної архітектури отримання диференційних поправок від двох ВП

Висновки. Запропонований метод автоматизації відображення фактичних глибин на електронній карті шляхом реалізації методів обчислювального інтелекту сприятиме надійності вирішення навігаційних задач для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи України.

Особливістю викладеної методології системної оптимізації структури і стратегії використання деталізованого масиву глибин є подолання багатокритеріальності оптимізаційних завдань, визначення їх обсягу і якості, подолання ряду невизначеностей, які неминучі при використанні принципів системного підходу тощо. Наведені вище математичні вирази включають сукупність логічно пов'язаних між собою теоретичних основ щодо усунення невизначеності ситуаційної динаміки у n -мірному просторі і вирішення нової наукової проблеми.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Богомья В.І. *Навігаційне забезпечення управління судном: Колективна монографія / В.І. Богомья, В.С. Давидов, В.В. Доронін, В.Д. Пашков, І.В. Тихонов.* – К.: Міністерство освіти і науки, 2012. – 335 с.
2. Доронін В.В. *Системна технологія розв'язку оперативних задач навігації для синтезу законів експлуатації водного транспорту // Системи обробки інформації: Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил України.* – Харків: Вид-во ХУПСУ, 2015. – Вип. 10 (135). – С. 186-191.
3. Баранов Г.Л., Доронін В.В., Косенко В.Р., Прохоренко Д.М. *Алгебраїзація маршрутів руху транспортних засобів // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. Національний транспортний університет.* – К.: Вид-во НТУ, 2014. – Вип. 1. – С. 60-70.
4. Катенин В.А. *Навигационно-гидрографическое обеспечение судоходства на внутренних водных путях: Учебн. пособие / В.А. Катенин, А.В. Зернов, Г.Г. Фадеев.* – М.: Изд-во Моркнига, 2010. – 344 с.
5. Баранов Г.Л. *Структурне моделювання та символічні перетворення для управління рухом транспортних засобів: Колективна монографія / Г.Л. Баранов, А.М. Носовський, В.В. Панин, І.В. Тихонов, С.М. Васько.* – К.: Міністерство освіти і науки, 2014. – 310 с.
6. Баранов Г.Л., Доронін В.В., Алейніков В.М. *Методи прийняття рішень в умовах невизначеності на акваторіях судноводіння // Матеріали міжнародної наукової конференції ISDMCI'2016: Зб. наук. праць Херсонського національного технічного університету.* – Херсон: Видавництво ІІІ Вишемирський В.С., 2016. – С. 31-32.

7. Каретников В.В. *Перспективи розвитку електронних навігаційних карт внутрішніх водних шляхів Російської Федерації // Річковий транспорт (XXI століття). – Росія. – 2014. – Вип. № 1. – С. 72.*
8. Коломійчук М.Д. *Гідрографія: Учбовий посібник / М.Д. Коломійчук. – СПб.: Видавництво ЦКФ ВМФ, 1988. – 366 с.*

Стаття надійшла до редакції 27.12.2017

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри Інформаційних систем і технологій Національного Транспортного університету України **Г.Л. Баранов**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Судноводіння та керування судном Державного університету інфраструктури та технологій **О.М. Майборода**

УДК 339.46

**ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕКТНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ
ПРОЕКТОВ ПОПОЛНЕНИЯ ФЛОТА**

А.Г. Шибает, Т.И. Берневек

Аннотация. Установлено интегрированное влияние динамики конъюнктур рынков, связанных с проектами пополнения флота, на параметры проектов пополнения флота. Проанализированы факторы, влияющие на структуру требований к параметрам проекта. Разработаны экономико-математические модели для двух видов проектов пополнения флота – строительства судна и приобретения судна. Данные модели позволяют устанавливать объектные и временные параметры проектов пополнения флота, а также доли собственных средств, источника финансирования и конкретной верфи (для проектов строительства).

Ключевые слова: пополнение флота, модель, динамика конъюнктуры рынка, параметры проекта.

**ОБГРУНТУВАННЯ ОБ'ЄКТНИХ І ТИМЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ
ПРОЄКТІВ ПОПОВНЕННЯ ФЛОТУ**

О.Г. Шибает, Т.І. Берневек

Анотация. Встановлено інтегрований вплив динаміки кон'юнктури ринків, пов'язаних з проектами поповнення флоту, на параметри проєктів поповнення флоту. Проаналізовано фактори, що впливають на структуру вимог до параметрів проєкту. Розроблено економіко-математичні моделі для двох видів проєктів поповнення флоту – будівництва судна і придбання судна. Дані моделі дозволяють встановлювати об'єктні і тимчасові параметри проєктів поповнення флоту, а також частки власних коштів, джерела фінансування та конкретної верфі (для проєктів будівництва).

Ключові слова: поповнення флоту, модель, динаміка кон'юнктури ринку, параметри проєкту.

**SUBSTANTIATION OF OBJECT AND TIME PARAMETERS
OF THE FLEET SUPPLY PROJECTS**

A.G. Shibaev, T.I. Bernevek

Abstract. The integrated influence of the dynamics of the market associated with the projects of the fleet replenishment has been established on the parameters of the fleet replenishment projects. The factors influencing the structure of requirements for project parameters are analyzed. Models have been developed for two types of replenishment fleet projects – vessel construction and vessel acquisition.

These models allow to establish the object and time parameters of the replenishment fleet projects, as well as the share of own funds, the source of financing and a particular shipyard (for construction projects).

Keywords: *fleet replenishment, model, market situation dynamics, project parameters.*

Введение. Стратегические цели судоходных компаний, а также необходимость компенсации естественных процессов списания старого тоннажа на слом являются предпосылками пополнения флота.

Таким образом, с одной стороны, пополнение флота является вариантом стратегий развития судоходных компаний, с другой – заменой старых судов для обеспечения имеющегося уровня рыночных позиций.

Пополнение флота формирует соответствующий проект, обладающий определенной спецификой, обусловленной спецификой производственной деятельности судоходных компаний, а также рынка морских транспортных услуг.

Так как проблема выбора проектов из множества альтернативных вариантов достаточно хорошо представлена в современной научной литературе, то наиболее интересным и требующим исследования является процесс установления оптимальных параметров проекта.

Обзор литературы и исследований. Понятие «параметры проекта» рассматривалось в [1]-[3], в частности, решалась задача их установления для программ развития ([2]), проектов предоставления транспортной услуги ([1]), проектов модернизации судов ([3]).

Обобщение изложенных в данных источниках результатов позволяет выделить два основных множества параметров проекта:

- объектные – то есть те, которые характеризуют то, что создается в проекте (продукт проекта);
- временные – то есть те, которые характеризуют основные временные периоды в рамках жизненного цикла проекта.

Практическое большинство показателей, отражающих затраты по проекту и эффективность проекта определяются именно данным набором параметров в заданных рыночных условиях (согласно [2]). Последние, в свою очередь, дифференцированы для различного набора объектных параметров в рамках заданного промежутка времени (то есть для определенного набора временных параметров). Например, спрос на продукт проекта с заданными характеристиками высокий в один временно период и низкий – в другой. Аналогично, стоимость приобретения каких-либо объектов или оборудования, связанных с проектом различна в различные моменты времени. Особенно это ярко выражено в морском бизнесе, когда стоимость судов определенного размера может повышаться с течением времени, не смотря на естественные процессы старения, что объясняется повышением спроса и дефицитом судов необходимого размера (на это, в частности, указывается в [2; 4]).

Объектные параметры являются основополагающими, так как они определяют суть продукта проекта. Для проектов пополнения флота продуктом являются услуга перевозки [1; 5] (в случае самостоятельной эксплуатации судна компанией, пополняющей флот) или способность судна предоставлять услугу перевозки (в случае сдачи судна, например, в тайм-чартерную аренду).

Один и тот же набор объектных параметров проекта может обеспечивать различную его эффективность в зависимости от отдельных временных параметров проекта. В [3] был представлен принципиальный вид интенсивности получения потоков денежных средств по проекту в зависимости от продолжительности периода финансирования. Также в [3] указывалось на важность момента «выхода продукта проекта» на рынок – в зависимости от ситуации на рынке продукта проекта (имеется в виду ситуация с конкуренцией, спросом, ценой на продукта проекта и т.п.) – итоговая эффективность проекта может значительно варьироваться.

Таким образом, идея оптимизации параметров проектов, связанных с судоходством, реализована для отдельных категорий проектов. При этом полученные в [1]-[3] результаты могут быть получены дальнейшее развитие для специфической категории проектов – проектов пополнения флота.

Цель исследования. Исходя из вышесказанного, целью данного исследования является разработка экономико-математической модели обоснования оптимальных объектных и временных параметров проектов пополнения флота.

Результаты исследования. В [1] в качестве характеристик проекта, результатом реализации которого будет предоставление транспортных услуг, указывалось: оснащенность судна, дедвейт, район плавания, скорость, осадка; в [2] указывалось, что дедвейт и возраст – параметры, которые определяют практически все технико-эксплуатационные и экономические показатели работы судов, включая эффективность проектов их приобретения. Также считаем необходимым добавить в перечень объектных параметров: специализацию судна, флаг, мощность главной энергетической установки. Причем, данный список может быть расширен. Тем не менее, из всего перечня указанных характеристик судна, которые служат объектными параметрами проектов пополнения флота, основное влияние на фрахтовые ставки, стоимости судов, провозные способности судов, уровень эксплуатационных затрат и, как следствие, на показатели эффективности проектов, оказывают размер судна и его возраст (для судов заданной специализации).

Поэтому для проектов пополнения флота в качестве основных объектных параметров примем: dw – дедвейт, т; t – возраст, г., полагая, что на этапе маркетинговых исследований по проекту эти параметры являются наиболее значимыми. Также, с учетом их количественной природы эти параметры используются в регрессионных моделях, описыва-

ющих динамику ставок фрахта, стоимостей судов, эксплуатационных затрат ([2]).

Лица, принимающие решения по проекту устанавливают ограничения на дедвейт и возраст судна: например, специфика доступа к грузовой базе обуславливает пополнение флота судном класса хендисайз или хендимакс, что задает определенные границы дедвейта; при этом судовладелец не рассчитывает на покупку судов возрастом до 5 лет, исходя из их высокой стоимости. В некоторых случаях, наоборот, судовладелец стремится приобрести суда возрастом до 5 лет, если планируется их эксплуатировать в определенных регионах, где в портах захода существуют определенные требования по возрасту судов.

Таким образом, состояние внутренней и внешней среды судоходной компании и будущие условия реализации проекта определяют допустимые границы $(dw^{\min}, dw^{\max}, t^{\min}, t^{\max})$ объектных параметров проектов пополнения флота – дедвейта и возраста

$$dw^{\min} \leq dw \leq dw^{\max}, \quad (1)$$

$$t^{\min} \leq t \leq t^{\max}. \quad (2)$$

Проанализируем специфику временных параметров проектов пополнения флота (рис. 1). Специфика жизненного цикла большинства проектов пополнения флота состоит в том, что продукт проекта может быть получен раньше окончания периода финансирования. Поэтому выполнено

$$t_{n.e.} + t_{m.e.} + t_{л.} = T, \quad (3)$$

где T – продолжительность жизненного цикла проекта.

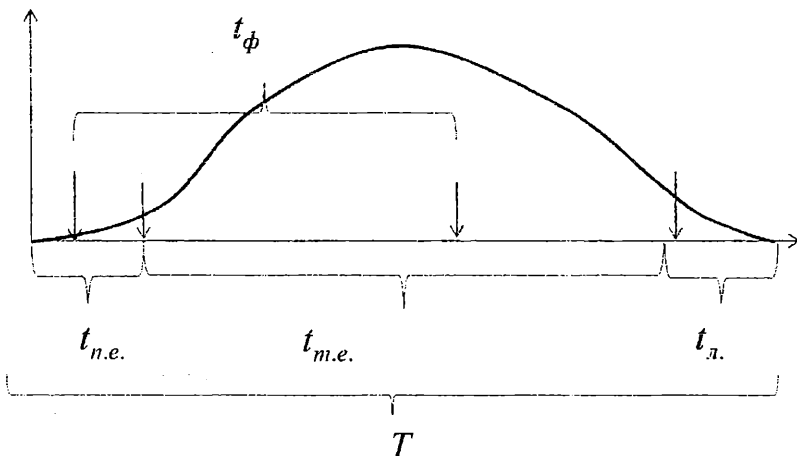


Рис. 1. Основные временные параметры проекта

Проаналізуємо специфіку $t_{n.e.}$ – періода до початку експлуатації для розглянутих проектів. С проектами поповнення флоту можливі наступні ситуації:

1) проект передбачає будівництво судна, тоді в залежності від вибраної верфі і її поточного портфеля замовлень будівництво потребує період часу

$$t_{n.e.}^{\delta}(a, dw), a \in U_a, \quad (4)$$

де $t_{n.e.}^{\delta}$ – період до початку експлуатації в проектах будівництва судів;

a – індекс верфі;

U_a – множина розглянутих верфей. Таким чином, тривалість періода до експлуатації залежить від конкретної верфі і ледвеита судна;

2) проект передбачає придбання вже експлуатованого судна. В цьому випадку тривалість періода до експлуатації

$t_{n.e.}^n$ (в проектах придбання) є статистично встановлюваною і не залежить від параметрів проекту (фактично, це час на пошук підходящого варіанта, оформлення угоди і переходу судна в вказаний порт)

$$t_{n.e.}^n = t'_{n.e.} \quad (5)$$

Ліквідаційна фаза в проектах поповнення флоту може представляти собою продаж судна для подальшої експлуатації; продаж судна металлом.

В проектах поповнення флоту тривалість ліквідаційної фази не підлягає оптимізації, так як фактично приймається в якості вихідних даних на базі статистики. Тому, і в першому, і в другому випадку

$$t_{л.} = t'_{л.}, \quad (6)$$

тобто тривалість ліквідаційної фази є екзогенним параметром, встановлюваним на базі статистичної інформації або оцінок експертів.

Що стосується періода фінансування t_{ϕ} , то для проектів придбання і будівництва судів його тривалість можна встановити в процесі оптимізації, обмежуючи його значення величиною t_{ϕ}^{\max} , яка залежить від сумми кредиту і вибраного джерела кредитування.

В свою очередь, величина кредита определяется стоимостью судна $S^n(dw, t)$ при приобретении, которая зависит от дедвейта и возраста или $S^{\delta}(a, dw)$ – в случае строительства судов, что учитывает специфику верфи.

Таким образом, для проектов пополнения флота, предусматривающих приобретение судна

$$t_{\phi}^n \leq t_{\phi}^{\max}(\epsilon, dw, t, \alpha), 1 - \alpha \leq \alpha^{\max}(\epsilon, dw, t), \epsilon \in U_{\epsilon}, \quad (7)$$

где α – доля собственных средств от стоимости судна;

t_{ϕ}^n – период финансирования для проектов приобретения судов;

$\alpha^{\max}(\epsilon, dw, t)$ – максимально возможная доля кредитных средств, зависящая от стоимости судна $S^n(dw, t)$ и источника кредитования ϵ ;

U_{ϵ} – множество рассматриваемых источников кредитования.

Для проектов строительства судов период финансирования t_{ϕ}^{δ} ограничен также величиной, зависящей от стоимости строительства судна $S^{\delta}(a, dw)$, источника кредитования ϵ и доли собственных средств α в проекте

$$t_{\phi}^{\delta} \leq t_{\phi}^{\max}(\epsilon, dw, a, \alpha), 1 - \alpha \leq \alpha^{\max}(\epsilon, dw, a), a \in U_a, \epsilon \in U_{\epsilon}. \quad (8)$$

Таким образом, судовладелец может варьировать сроком кредита (t_{ϕ}^n в проектах приобретения, t_{ϕ}^{δ} – в проектах строительства) в рамках возможных границ с целью обеспечения определенных условий, например, по уровню потока денежных средств или итоговой эффективности.

Таким образом, период финансирования ($t_{\phi}^n, t_{\phi}^{\delta}$) является инструментом изменения уровня потока денежных средств.

Для проектов пополнения флота на базе тайм-чартерной аренды период финансирования равен сроку аренды и представляет собой платежи по тайм-чартеру, поэтому t_{ϕ}^{t-ch} равен периоду эксплуатации t_{ϕ}^{t-ch} т.е. , которые могут быть установлены в рамках оптимизационной модели в пределах «общепринятых» сроков тайм-чартерной аренды – обычно, 6 месяцев, год, два года, три года.

Последний временной параметр проекта, требующий характеристики с учетом специфики проектов пополнения флота, – период экс-

плуатации $t_{m.e.}$. В [6] предлагалось для определения окончания эксплуатационной фазы проекта приобретения судна использовать условие, при котором приращение показателя эффективности проекта NPV становится достаточно малым, то есть если прирост NPV замедляется в соответствии с заданным условием, то эксплуатационную фазу нужно прекратить, так как это экономически нецелесообразно. Такой подход эффективен в тех случаях, когда основной целью и, соответственно, основным критерием (в задачах выбора проекта или определения его параметров) является максимизация NPV.

Специфика проектов пополнения флота состоит в том, что суда приобретаются, исходя из соответствующих целей, на базе соответствующих критериев, и NPV не всегда является главным критерием в процессе оптимизации или выбора. Поэтому для проектов пополнения флота предлагаем обобщенный вариант для определения периода эксплуатации (в рамках разрабатываемой модели) с учетом существующих ограничений по срокам эксплуатации судов (имеется в виду допустимый срок эксплуатации судна, который зависит от специализации судна и возраста судна на момент приобретения)

$$t_{m.e.}^n \leq t_{m.e.}^{n-\max}(t), \quad (9)$$

$$t_{m.e.}^b \leq t_{m.e.}^{b-\max}(a). \quad (10)$$

Отметим, что даже для новых судов период эксплуатационной фазы проекта может быть значительно меньше возможного срока их работы, что определяется, прежде всего, ограничениями, устанавливаемыми лицами, принимающими решение по проекту. Например, руководство судоходной компании считает целесообразным получение определенных экономических результатов в рамках установленных сроков. Поэтому в некоторых случаях $t_{m.e.}^n$ и $t_{m.e.}^b$ могут быть заданы в качестве экзогенных параметров или ограничены определенным образом.

Выше были проанализированы основные ограничения на возможные значения временных параметров проектов пополнения флота (для их основных видов), которые не связаны с рыночной ситуацией, а устанавливаются на основе требований менеджмента компаний, технических и технологических факторов. В свою очередь, рыночные факторы формируют как возможности, так и ограничения по реализации того или иного проекта пополнения флота с определенным набором параметров.

На рис. 2 представлено интегрированное влияние динамики конъюнктур рынков, связанных с проектами пополнения флота, на параметры проектов пополнения флота. В качестве основных рынков выделены: фрахтовый рынок, рынок продажи судов, рынок бункера, мировой (региональный) товарный рынок (определяющий структуру и объем грузопотоков).

Прогнозирование динамики конъюнктур данных рынков является базой для установления оптимальных параметров проекта – таких, которые обеспечат в сложившихся рыночных условиях лучший результат выбранной категории проектов пополнения флота.

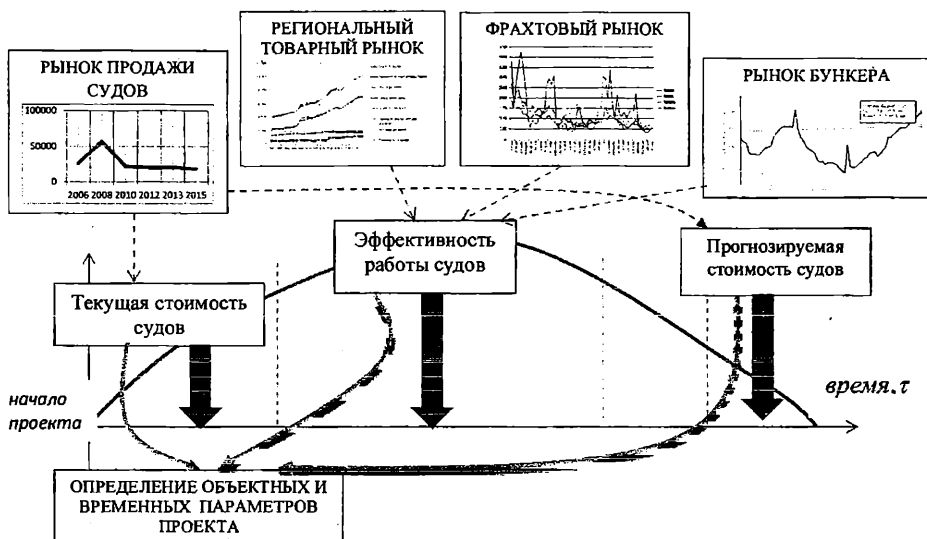


Рис. 2. Влияние динамики конъюнктур рынков, связанных с проектами пополнения флота, на параметры проектов пополнения флота

С учетом принятых выше обозначений и установленных ограничений «естественного» характера (в том числе, технологического), сформируем ограничения и критерий оптимизации, которые учитывают специфику рынка, а также возможности и потребности конкретной судоходной компании.

Сформулируем ограничение по финансовым возможностям компании в финансировании проекта приобретения или строительства.

Стоимость судна для приобретения $S^n(dw, t)$ (строительства $S^b(a, dw)$) должна не превышать заданную величину S^* , (исходя из возможностей компании по собственным финансовым ресурсам и получению кредитных средств, а также других факторов, обусловленных инвестиционной политикой компании)

$$\alpha \cdot S^n(dw, t) \leq S^*, \quad (11)$$

$$\alpha \cdot S^b(a, dw) \leq S^*. \quad (12)$$

На продолжительность эксплуатационной фазы проекта может быть установлено ограничение $t_{m.e.}^*$, не связанное с нормативным сроком эксплуатации судна (что было рассмотрено ранее), а обусловленное видением руководства компании

$$t_{m.e.}^n \leq t_{m.e.}^* \quad (13)$$

$$t_{m.e.}^{\delta} \leq t_{m.e.}^* \quad (14)$$

Отметим, что на период финансирования также может быть установлено аналогичное ограничение

$$t_{\phi}^n \leq t_{\phi}^* \quad (15)$$

$$t_{\phi}^{\delta} \leq t_{\phi}^* \quad (16)$$

Следующий блок ограничений связан с динамикой рыночной конъюнктуры, которая влияет на уровень дохода и затрат в процессе эксплуатации. Для описания динамики различных показателей введем в рассмотрение индекс времени τ , полагая, что $\tau = 1$ соответствует началу эксплуатационного периода и началу финансирования проекта приобретения судна, так как для него характерна практически незначительная разница между этими двумя фазами.

Для проектов строительства судов $\tau = 1$ соответствует началу строительства и началу финансирования, как было отмечено ранее, эксплуатационная фаза наступает позже в среднем на 2-3 года (в зависимости от размера судна и выбранной верфи).

Прибыль от эксплуатации судна в проектах приобретения формируется следующим образом:

$$\Pi_{\tau}^n = f_{\tau}(dw, \tau) \cdot P_{\tau}(dw, t, \tau) - R_{\tau}^e(dw, t, \tau), \tau = \overline{1, t_{m.e.}^*} \quad (17)$$

где τ – индекс времени эксплуатационного периода (в рамках рассматриваемой задачи время дискретно, что соответствует практике экономических расчетов в судоходстве);

$f_{\tau}(dw, \tau)$ – динамика среднего значения фрахтовой ставки в рассматриваемом регионе работы судна (ставка рейсового чартера), долл./т, которая зависит от дедвейта судна;

$P_{\tau}(dw, t, \tau)$ – динамика провозной способности судна, т, которая для заданного региона определяется дедвейтом судна и его возрастом. Отметим, что возраст судна влияет на продолжительность эксплуатационного периода в годовом отрезке времени. Так, с увеличением возраста

судна, увеличивается время плановых ремонтов, а также достаточно часто возникает необходимость во внеплановых ремонтах, что уменьшает годовую провозную способность судна.

В проектах приобретения судов прибыль «запаздывает» (относительно начала финансирования) на промежуток времени $t^{\delta}(dw, a)$ – период строительства, который зависит от дедвейта судна (заданной специализации) и верфи, на которой ведется строительство.

Поэтому справедливо

$$P_{\tau}^{\delta} = f_{\tau}(dw, \tau) \cdot P_{\tau}(dw, \tau) - R_{\tau}^e(dw, \tau), \tau = \overline{t^{\delta}(dw, a) + 1, t^{\delta}(dw, a) + t_{m,e}^{\delta}}. \quad (18)$$

Отметим, что дискретное представление времени в данной ситуации предполагает, что $t^{\delta}(dw, a) \in Z^+$ (также как и остальные временные параметры, при этом в качестве единицы времени могут выступать месяцы, полугодия, годы). Прибыль от эксплуатации является составляющей для определения величины потока денежных средств – одного из значимых экономических показателей в проектном анализе. Для проектов приобретения и строительства судов величина потока денежных средств в период времени τ соответственно составляет

$$CF_{\tau}^n(dw, t, t_{\phi}^n, \alpha, \beta, \tau) = \Pi_{\tau}^n(dw, t, \tau) - R_{\tau}^{n,\phi}(dw, t, t_{\phi}^n, \alpha, \beta, \tau), \tau = \overline{1, t_{m,e}^n}, \quad (19)$$

$$CF_{\tau}^{\delta}(dw, a, t_{\phi}^{\delta}, \alpha, \beta, \tau) = P_{\tau}^{\delta}(dw, \tau) - R_{\tau}^{\delta,\phi}(dw, a, t_{\phi}^{\delta}, \alpha, \beta, \tau), \tau = \overline{1; t_{m,e}^{\delta}}, \quad (20)$$

где

$$P_{\tau}^{\delta} = \begin{cases} 0, \tau = 0; \overline{t^{\delta}(dw, a)}; \\ f_{\tau}(dw, \tau) \cdot P_{\tau}(dw, \tau) - R_{\tau}^e(dw, \tau), \\ \tau = \overline{t^{\delta}(dw, a) + 1, t^{\delta}(dw, a) + t_{m,e}^{\delta}} \end{cases} \quad (21)$$

$R_{\tau}^{n,\phi}(dw, t, t_{\phi}^n, \alpha, \beta, \tau)$ – динамика расходов, связанных с финансированием проекта приобретения судна (расходы по кредиту), которые определяются стоимостью судна (в свою очередь, зависящую от дедвейта и возраста судна); периодом финансирования t_{ϕ}^n , долей собственных средств α в приобретении, а также спецификой источника финансирования $\beta \in U_{\beta}$;

$R_{\tau}^{\delta,\phi}(dw, a, t_{\phi}^{\delta}, \alpha, \beta, \tau)$ – динамика расходов, связанных с кредитом в течение периода времени t_{ϕ}^{δ} на строительство судна на верфи $a \in U_a$. При этом

$$R_{\tau}^{n,\phi}(dw, t, t_{\phi}^n, \alpha, \beta, \tau) = \begin{cases} R_{\tau}^{n,\phi}(dw, t, t_{\phi}^n, \alpha, \beta, \tau), \tau = \overline{1, t_{\phi}^n}, \\ 0, \tau > t_{\phi}^n \end{cases}, \quad (22)$$

$$R_{\tau}^{\delta, \phi}(dw, a, t_{\phi}^b, \alpha, \nu, \tau) = \begin{cases} R_{\tau}^{\delta, \phi}(dw, a, t_{\phi}^{\delta}, \alpha, \nu, \tau), \tau = \overline{1, t_{\phi}^{\delta}} \\ 0, \tau > t_{\phi}^{\delta} \end{cases} \quad (23)$$

(22, 23) устанавлюють той факт, що расходи по кредиту присутствуют только в пределах периода финансирования.

Ранее отмечалось, что годовой уровень потока денежных средств следует использовать в качестве одного ограничения

$$CF_{\tau}^n(dw, t, t_{\phi}^n, \alpha, \nu, \tau) \geq CF_{\tau}^*, (\tau = \overline{1, t_{m.e}^n}) \quad (24)$$

$$CF_{\tau}^{\delta}(dw, a, t_{\phi}^{\delta}, \alpha, \nu, \tau) \geq CF_{\tau}^*, (\tau = \overline{1, t_{m.e}^{\delta}}). \quad (25)$$

CF_{τ}^* задає мінімально допустимую границу потока денежных средств.

В качестве критериев предлагается использовать показатель экономической эффективности NPV

$$NPV^n = \sum_{\tau=1}^{t_{m.e}^n} \left(\frac{1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^{\tau}} CF_{\tau}^n(dw, t, t_{\phi}^n, \alpha, \nu, \tau) \right) - \alpha \cdot S(dw, t) + \frac{1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^{t_{m.e}^n}} S(dw, t, t_{m.e}^n) \rightarrow \max \quad (26)$$

$$NPV^{\delta} = \sum_{\tau=1}^{t_{m.e}^{\delta}} \left(\frac{1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^{\tau}} CF_{\tau}^{\delta}(dw, a, t_{\phi}^{\delta}, \alpha, \nu, \tau) \right) - \alpha \cdot S(dw, a) + \frac{1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^{t_{m.e}^{\delta}}} S(dw, a, t_{m.e}^{\delta}) \rightarrow \max \quad (27)$$

Результатом оптимизации будет не только установление объектных и временных параметров проекта, а и доли собственных средств, источника финансирования и конкретной верфи (для проектов строительства).

Выводы. Установлено интегрированное влияние динамики конъюнктур рынков, связанных с проектами пополнения флота, на параметры проектов пополнения флота.

В качестве основных рынков выделены: фрахтовый рынок, рынок продажи судов, рынок бункера, мировой (региональный) товарный рынок (определяющий структуру и объем грузопотоков). Проанализированы факторы, влияющие на структуру требований к параметрам проекта.

Определено, что прогнозирование динамики конъюнктур данных рынков является базой для установления оптимальных параметров проекта – таких, которые обеспечат в сложившихся рыночных условиях лучший результат выбранной категории проектов пополнения флота;

Разработаны экономико-математические модели для двух видов проектов пополнения флота – строительства судна и приобретения судна. Данные модели позволяют устанавливать объектные и временные параметры проектов пополнения флота, а также доли собственных средств, источника финансирования и конкретной верфи (для проектов строительства).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковтун Т.А. Система моделей поддержки процесса инициализации проекта предоставления транспортной услуги: Дис. кандидата технических наук: 05.13.22 / Т.А. Ковтун. – Одеса: Феникс, 2008. – 220 с.
2. Онищенко С.П. Оптимизация объектных и временных параметров эксплуатационной фазы проектов развития предприятий на примере судоходных компаний / С.П.Онищенко // Методи та засоби розвитку транспортних систем: Зб. наук. праць ОНМУ. – 2009. – Вип.15. – С.70-84.
3. Онищенко С.П. Моделирование процессов организации и функционирования системы маркетинга морских транспортных предприятий / С.П.Онищенко. – Одесса: Феникс, 2009. – 328 с.
4. Лапкина И.А. Анализ эффективности инвестиционного проекта судоходной компании в условиях риска / И.А. Лапкина, Т.В. Болдырева // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса, 2002. – Вип. 1. – С. 28-42.
5. Онищенко С.П. Основные объекты маркетинга в проектной деятельности / С.П. Онищенко, Т.И. Берневек // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 3(2). – С. 8-12.

6. Семенчук Е.Л. Моделирование потоков денежных средств в процессах планирования проектов развития судоходной компании / Е.Л. Семенчук // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наук. праць. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2005. – № 2(14). – С. 133-142.

Стаття надійшла до редакції 15.01.2018

Рецензенти:

доктор економічних наук, професор, професор кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету **С.П. Онищенко**

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

УДК 656.613.2.:656.612.022.5

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОТРЕБНОСТИ В СУДАХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МОРСКОГО
И ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА**

О.В. Щербина

Предложенная методика построения графика движения судов позволяет определить необходимое количество морских монокорпусных и составных баржебуксирных судов. Схема работы предполагает рейдовую грузообработку в устьевом порту по варианту «борт-борт» с целью обеспечения непрерывного транспортного процесса перевозок массовых грузов из района формирования грузопотока в район потребления.

Ключевые слова: баржебуксирные суда, рейдовая перегрузка, потребность во флоте, график движения, «борт-борт».

**ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ
ПОТРЕБИ У СУДНАХ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ МОРСЬКОГО
І ВНУТРІШНЬОГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ**

О.В. Щербина

Запропонована методика побудови графіка руху суден дозволяє визначити необхідну кількість морських монокорпусних і складених баржебуксирних суден. Схема роботи передбачає рейдову вантажеобробку в гирловому порту за варіантом «борт-борт» з метою забезпечення безперервного транспортного процесу перевезень масових вантажів з району формування вантажопотоку в район споживання.

Ключові слова: баржебуксирні судна, рейдове перевантаження, потреба у флоті, графік руху, «борт-борт».

**PRACTICAL APPLICATION OF THE METHODS OF DETERMINING
REQUIREMENTS IN VESSELS UNDER THE INTERACTION OF MARINE
AND INLAND WATER TRANSPORT**

O.V. Shcherbina

The proposed methodology for plotting the vessel traffic schedule makes it possible to determine the necessary number of marine monocorpus and composite barge-towing vessels. The scheme of work assumes raid cargo handling in the estuary port in accordance with the variant «board-board» in order to provide a continuous transport process for transporting bulk goods from the area of formation of the cargo flow to the region of consumption.

Keywords: tug barge vesseles, road overload, fleet needs, traffic schedule, «board-board».

Постановка проблеми. Одним из перспективных направлений развития перевозок, является организация процесса перевозки грузов морем с участием баржебуксирных судов (ББС). При этом перевалка грузов, пришедших по водным путям в баржах выполняется непосредственно на морское судно на рейде, где глубины позволяют использовать морские суда большего тоннажа, чем непосредственно у причалов. Преимущество такой организации транспортного процесса заключается также в отсутствии необходимости складировать грузы, накапливать их до размеров судовой партии, хранить в порту транshipmenta.

Известно, что эффективность перевозок грузов ББС зависит от рационального использования технических средств. В случае с ББС задача определения потребности во флоте усложняется такой особенностью рассматриваемого типа судов, как возможность обслуживать одним буксиром несколько комплектов барж. Количество комплектов барж, также как и количество барж, составляющих комплект, зависит от многих факторов, в том числе, необходимой загрузки ББС, наличного флота, ограничивающих характеристик трассы, дальность перевозки и пр. Следует учитывать, что комплект может состоять из барж, отличающихся по технико-эксплуатационным характеристикам (ТЭХ). При этом под комплектом барж понимается количество барж, которое транспортируется одним буксиром в прямом (обратном) направлении.

Решению задачи определения типоразмера ББС посвящена работа [1]. Поскольку данный вопрос выходит за рамки настоящего исследования, количество барж в комплекте в данной работе принимается постоянной величиной.

Задача определения необходимого количества буксиров и комплектов барж при организации работы ББС без закрепления тяги (буксира) за тоннажем (баржами) при рейдовой перегрузке является наиболее актуально при координации совместной работы морского и речного транспорта. Из известных способов определения потребного количества транспортных средств – по эксплуатационным показателям, по обороту (по круговому рейсу), по графику движения (ГД) флота [2]) – последний является наиболее точным, применяемым при оперативном планировании работы судов.

Таким образом, разработка методики построения графика движения при согласованной работе речных и морских судов, а также определения количества технических средств при рейдовой перегрузке является актуальной. Соответственно, актуальным является и вопрос его практического применения.

Начало научного обоснования работы ББС приходится на 20-30-е годы XX ст. С того времени теория формирования графика постоянно совершенствуется с учетом современных условий рынка и текущих технических возможностей, в том числе в судостроении, гидротехнике и пр.

В отечественной литературе, решению вопросов организации транспортного процесса перевозок грузов по морским и внутренним водным путям, а также методам планирования работы морских и речных судов посвящены работы, относящиеся преимущественно к советскому периоду. В работах [2]-[4] изложены методические основы построения графика движения речного и морского флота, рассмотрены общие положения организации и планирования работы судов. В работе [5] предложены решения, позволяющие повысить эффективность работы ББС, за счет рационального использования рабочего времени судов. В работе [6] выполняется отбор судов, характеристики которых обеспечивают наибольшее значение экономических показателей. Автором рассматривается задача работы группы судов на определенном направлении. При этом в исследовании предложена схема работы судов с рейдовой грузообработкой без формирования графика движения.

Исследования, представленные в зарубежных источниках, ведутся преимущественно в направлении контейнерных перевозок грузов на баржах [7]. Авторами предложена методика построения графика движения ББС и представлены результаты экспериментальных исследований с организацией работы судов на р. Янцзы и базовым портом Шанхай. Представленная в работе [8] методика решает задачу составления графика движения ББС в условиях наличия на трасе мест с ограниченной пропускной способностью при помощи программирования.

Проведенный анализ публикаций показал, что разработке графика работы ББС при его смежной работе с судами морского флота при организации работы судов с рейдовой перегрузкой не уделено достаточно внимания.

Постановка задачи. Целью статьи является построение графика движения судов и определение потребного состава флота при взаимодействии морских и баржебуксирных судов при рейдовой перегрузке зерна в устьевом порту, для обеспечения координации работы морского и речного транспорта.

Изложение основного материала исследования. При оперативном планировании наиболее точным методом определения потребности в технических средствах при взаимодействии морского и внутреннего водного транспорта является график движения (ГД), методика построения которого изложена в [9]. Этот способ определения количества элементов ББС является более точным, поскольку учитывает все возможные задержки судна на трассе не только в пространстве, но и во времени.

В рамках статьи предложено рассмотрение организации работы судов по ТТС «ББС-морское судно» по маршрутной форме без закрепления тяги за тоннажем на речном участке по следующему варианту схемы:

Порт отправления (П.О.) *погрузка* – рейд порта транзитанта (П.Т.)
выгрузка на судно (борт-борт) – порт назначения (П.Н.).

Расчетным П.О. является порт из района зарождения грузопотока на участке (новый речной зерновой терминал Черкасского порта), где глубины р. Днепр имеют постоянное значение и достаточны для прохождения «крупнотоннажных» речных барж или «большегрузных» составов. Портом траншипмента принят рейд Херсонского морского торгового порта (ХМТП), обеспечивающий перегрузку зерна из барж на морское судно. Перспективным торговым партнером в экспорте украинского зерна является Египет. Поэтому, в качестве порта назначения рассматривается порт Александрия.

Эффективность работы ББС заключается в подборе и закреплении за определенным участком трассы определенного типа ББС, имеющего наилучшие экономические показатели. Закрепление ББС осуществляется на основании показателей за предыдущий период работы на данном участке либо методом подбора на расчетной базе.

Для реализации поставленной в статье задачи построения ГД при перевозке грузов водным транспортом с использованием баржебуксирной транспортно-технологической системы «ББС-морское судно» предложены суда, характеристики которых позволяют эксплуатировать их на рассматриваемом направлении (табл.1) [10; 11].

Таблица 1

Характеристики судов

| Характеристика | Буксир-толкач «Прибужанский» | Баржа «Европа 2Б» | «Sparta» |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------|
| Длина наибольшая, м | 32 | 76,02 | 134 |
| Ширина, м | 10 | 11,44 | 19,03 |
| Висота борта, м | 1,8 | 3,2 | 9,2 |
| Осадка в грузу, м | - | 3,0 | 6,79 |
| Грузоподъемность, т | - | 2000 | 9884* |
| Грузовместимость, м ³ | - | 2228 | 13924 |
| Мощность, кВт (л.с.) | 700 | - | 2500 |
| Скорость в грузу, уз (км/ч) | (8)* | - | 11,0 |
| Скорость в балласте, уз (км/ч) | (8,2)* | - | 11,3 |

Примечание * – значение ТЭХ судов, принятые для расчетов в настоящей работе по причине отсутствия информации в открытом доступе.

Таким образом, исходя из анализа внешних условий перевозок зерна из Украины и существующей практики, возможна схема доставки украинского зерна в Египет будет иметь следующий вид:

Зерновой терминал Черкасского порта ($T_{\max} = 2,4$ м) – ББС (однобаржевый караван из буксира «Прибужанский» и баржи «Европа 2Б» загруженного 2000 т тяжелого зерна – ХМТП ($T_{\max} = 7,8$ м) рейдовая перегрузка на морское судно ««Спарта»» – Александрия ($T_{\max} = 12$ м) – возвращение судов в балласте.

Построение графика осуществляется на следующих исходных условиях:

1) поскольку, в большей мере, именно в обеспечении непрерывной работы на ходу дорогостоящей части судна (машинного отделения) заключается эффективность работы ББС, в качестве схемы организации работы буксира принимаем ту, при которой буксир продолжает движение с баржей, которая уже находится в порту;

2) рассматриваем работу ББС с загрузкой только в одном направлении при участии одного причала (порта) погрузки и одного причала (порта) выгрузки и обратно переход с порожней баржей. Однако методика действительна при работе ББС с обратной загрузкой между двумя портами. При этом необходимо считать время стояночное как общее время под погрузкой и выгрузкой в каждом соответствующем порту;

3) в портах имеются по одной барже либо готовых к отправлению либо находящихся под грузообработкой (первая – в П.О., вторая – в П.Т.);

4) порты на графике располагаются в следующей последовательности: первый – П.О., второй – П.Т., т.е. движение вниз на графике – движение вниз к устью реки.

Для построения ГД необходима информация, представленная в табл. 2.

Последовательность этапов алгоритма построения ГД судов:

1. Для ввода судов в график необходимо предварительно оценить их количественный состав, который рассчитывается по формулам принятым в международной практике, когда количество буксиров, зависит от количества портов в схеме и количества имеющихся свободных барж [9].

Первоначально, в случае рейдовой перегрузки с морского судна на ББС или обратно для обеспечения непрерывности погрузо-разгрузочных работ необходимо создать условия для своевременной подачи барж к борту судна.

При этом необходимое количество комплектов барж для загрузки морского судна определяется по следующей формуле:

$$n_{\text{барж}}^c = \frac{Q_c}{Q_{\text{бар}}}, \quad (1)$$

где Q_c – максимально допустимая загрузка морского судна, т;

$Q_{\text{бар}}$ – максимально допустимая загрузка баржи, т.

Таблиця 2

Параметры рейса

| Параметры | Единицы измерения | Значение |
|---|-------------------|-------------|
| Перевозимый груз | | зерно |
| Направление | | экспорт |
| Удельный погрузочный объем | м ³ /т | 1,4 |
| Порт отправления | А | Черкаскы |
| Устьевой порт | В | Херсон |
| Порт назначения | С | Александрия |
| Расстояния | АВ | 775 км |
| | ВС | 1144 миль |
| Среднепутевая скорость течения | км/ч | 2 |
| Валовые нормы грузовых работ: | т/добу | |
| порт отправления – Черкаскы | | 5000 |
| устьевой порт – Херсон (борт-борт) | | 1500 |
| порт назначения – Александрия | | 3000 |
| Максимально допустимая загрузка ББС ограниченная условиями | т | 2000 |

В рассматриваемом случае

$$n_{\text{барж}}^c = \frac{9884}{2000} = 4,942 \approx 5 \text{ (ед.)}.$$

Результат округляется до целого в большую сторону, после чего уточняется загрузка ББС

$$Q^{\text{бар}} = \frac{Q_c}{n_{\text{барж}}^c}, \quad (2)$$

$$Q^{\text{бар}} = \frac{9884}{5} = 1977 \text{ (т)}.$$

Количество барж с учетом их оборачиваемости определяется из выражения

$$n_{\text{барж}} = n_{\text{барж}}^c + 2, \quad (3)$$

где 2 – одна баржа, находится в порту отправления, а другая в порту назначения для замены [7]

$$n_{\text{барж}} = 5 + 2 = 7.$$

Количество буксиров определяется из выражения

$$N_{\text{бук}} = n_{\text{барж}} - n_{\text{пр}}, \quad (4)$$

где $n_{\text{пр}}$ – количество портов между которыми работают ББС;

$$N_{\text{бук}} = 7 - 2 = 5(\text{ед.})$$

2. Расчет элементов времени рейса.

Ходовое время рейса в прямом направлении и в обратном направлении, суток

$$t_x^{\text{пр(обр)}} = \left(\frac{L^{\text{пр(обр)}} - l_0}{V_m \pm V_{\text{те}}} + \frac{l_0}{V_0} + t_\Delta \right) \cdot K_z, \quad (5)$$

где $L^{\text{пр(обр)}}$ – протяженность схемы движения, миль на морском участке, км на речном участке (табл.2);

l_0 – протяженность участка, где скорость судна ограничена, миль;

V_m – техническая скорость судна в грузу или в балласте, уз;

V_0 – ограниченная скорость судна (в узлах на морском участке, в километрах в час на речном участке);

$V_{\text{те}}$ – скорость течения (добавляется «+», если судно движется вниз по течению к устью, иначе – вычитается «-»), уз;

t_Δ – дополнительное время на лоцманскую проводку и швартовные операции, счалка, шлюзование (для выполнения данной работы примем 1 ч. на один судозаход на лоцманскую проводку и швартовные операции, счалку и на шлюзование 1 ч. (или по нормативам), час;

K_z – коэффициент учитывающий задержку судна по разным причинам (5 % – для несамоходных судов, 6 % – для самоходных судов) [12].

Время стоянки рейса под погрузкой (разгрузкой), суток

$$t_c^{\text{н(р)}} = \frac{Q^{\text{бар}}}{M_v}, \quad (6)$$

где M_v – валовые нормы грузовых работ, т/сут.

Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Элементы времени рейса

| Показатель | Баржа | Буксир | «Sparta» |
|--------------------|-------|--------|----------|
| t_x^{np} , сут. | 4,00 | 4,00 | 4,30 |
| $t_x^{обр}$, сут. | 5,80 | 5,80 | 4,20 |
| t_c^n , сут. | 0,4 | 0 | 6,7 |
| t_c^p , сут. | 1,3 | 0 | 3,3 |

Полученные значения элементов времени рейса используются для ведения нити графика для схемы работы ББС и фиксации момента начала и окончания каждой грузовой операции, согласно методики, предложенной в работе [10].

3. Определяем момент отправления баржи 1 с буксиром 1 (состав 1.1) из порта погрузки А

Поскольку $t_x^{ББС} \geq t_c^{барж}$ (4 сут. > 1,3 сут.), то момент отхода состава 1.1 принимают 00ч 00 мин. 1-х суток, т.е. $t_{отпр 1}^{ББС 1.1} = 00ч 00 мин.$

4. Момент прибытия состава 1.1 в порт В совпадает с моментом освобождения буксира 1 от предыдущего рейса равному ходовому времени из пункта В в пункт А и определяется из выражения

$$t_{\text{прибыт В1.1}} = t_{\text{отпр 1}}^{ББС 1.1} + t_x^{\text{букс вниз А} \rightarrow \text{В}}, \quad (7)$$

$$t_{\text{прибыт В1.1}} = 00ч00мин + 4сут = 4сут.$$

5. Момент прибытия морского судна в порт В совпадает с моментом прибытия состава 1.1

$$t_{\text{прибыт мор В}} = t_{\text{прибыт мор В1.1}} \quad (8)$$

$$t_{\text{прибыт мор В}} = 4сут.$$

6. Момент отправления баржи 3 с буксиром 1 (состав 1.3) из порта выгрузки В совпадает с моментом освобождения буксира 1 от предыдущего рейса, оформлением документов на последующий рейс и сцепкой с баржей 3, что включено в расчеты ходового времени (формула 5) и определяется из выражения

$$t_{\text{отпр В1.3}} = t_{\text{отпр 1}}^{ББС 1.1} + t_x^{\text{букс вниз А} \rightarrow \text{В}}, \quad (9)$$

$$t_{\text{отпр В1.3}} = 00ч00мин + 4сут = 4сут.$$

7. Момент прибытия состава 1.3 в порт А совпадает с моментом освобождения буксира 1 от предыдущего рейса равному ходовому времени из пункта В в пункт А и определяется из выражения

$$t_{\text{прибыт А 1.3}} = t_{\text{отпр В 1.3.}} + t_{\text{ББС В} \rightarrow \text{А}} = \quad (10)$$

$$t_{\text{отпр 1}} + t_{\text{ББС А} \rightarrow \text{В}} + t_{\text{ББС В} \rightarrow \text{А}}$$

$$t_{\text{прибыт А 1.3}} = 4,0 + 5,8 = 9,8 \text{ сут.}$$

8. Момент постановки под погрузку баржи 2 в п. А, которую привел в порт буксир 1, совпадает с моментом отправления состава 1.1. из пункта А

$$t_{\text{прибыт А 1.2}} = t_{\text{отпр А 1.1.}}, \quad (11)$$

$$t_{\text{прибыт А 1.2}} = 0 \text{ ч.}$$

9. При рейдовой перегрузке момент отправления баржи 2 с буксиром 2 (состав 2.2.) из порта погрузки А определяется интервалом отправления

$$t_u = t_c^{\text{барж в}}, \quad (12)$$

$$t_u = 1,3 \text{ сут.}$$

Поскольку $t_c^{\text{барж п}} < t_c^{\text{барж в}}$ ($0,4 < 1,3$), баржа 2 находится в П.О. в ожидании отправления, а момент отправления ее из п. А определяется из выражения

$$t_{\text{отпр А}}^{\text{ББС 2.2}} = t_c^{\text{барж в}} - t_{\text{отпр 1}}^{\text{ББС 1.1}}, \quad (13)$$

$$t_{\text{отпр А}}^{\text{ББС 2.2}} = 1,3 - 0 = 1,3 \text{ сут.}$$

а время ожидания баржей 2 буксира 2 определяется из выражения

$$t_{\text{ож}}^{2.2} = t_c^{\text{барж в}} - t_c^{\text{барж п}}, \quad (14)$$

$$t_{\text{ож}}^{2.2} = 1,3 - 0,4 = 0,9 \text{ сут.}$$

10. Момент прибытия состава 2.2. в порт В совпадает с моментом освобождения буксира 2 от предыдущего рейса равному ходовому времени в грузу из пункта А в пункт В и определяется из выражения:

$$t_{\text{прибыт В 2.2}} = t_{\text{отпр А 1.1.}} + t_{\text{ББС А} \rightarrow \text{В}} + t_{\text{и}} = t_{\text{отпр В 1.3.}} + t_{\text{и}}, \quad (15)$$

$$t_{\text{прибыт В 2.2}} = 0 + 4 + 1,3 = 5,3 \text{ сут.}$$

11. Момент отправления из пункта В буксира 2 с баржей 1, находящейся в этом порту (состава 2.1) совпадает с моментом освобождения буксира 2 от предыдущего рейса определяется согласно методики изложенной ранее из выражения

$$t_{\text{отпр В 2.1}} = t_{\text{прибыт В. 2.2}} = t_{\text{ББС 1.1 отпр А}} + t_{\text{ББС А} \rightarrow \text{В}} + a \cdot t_u, \quad (16)$$

$$= t_{\text{отпр В 1.3}} + a \cdot t_u$$

где a – целочисленное значение (для состава 2.1. $a = 1$).

$$t_{\text{отпр В 2.1}} = 5,3 \text{ сут.}$$

12. Аналогичным образом проводится расстановка всех барж и буксиров последовательно, до момента, пока цикл работы судов не установится, т.е. до тех пор пока в продолжении определенного отрезка времени прибытие, отправление и проследование всех судов на всех линиях не установится в определенной последовательности.

Выводы. На основании предложенной методики построен ГД морских судов и ББС (рис.).

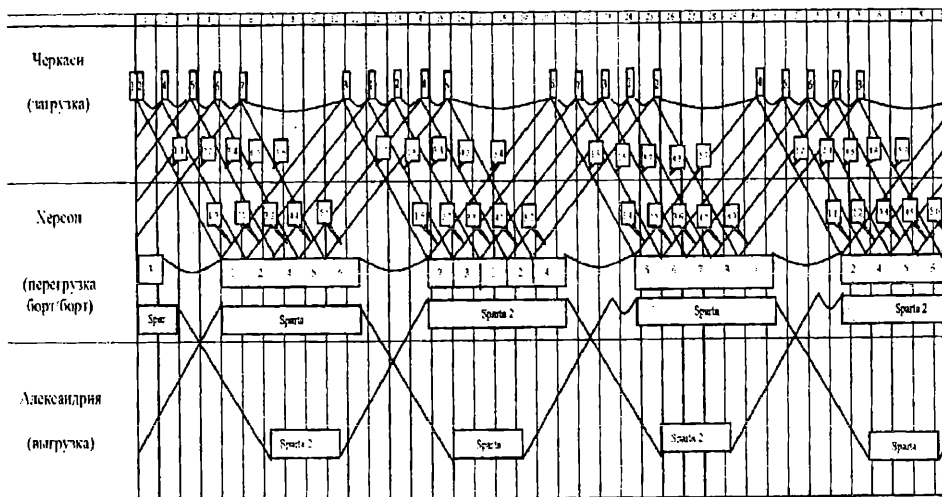


Рис. График движения судов:

5 буксиров «Прибужанский» + 7 барж «Европа 2Б» + 2 м/х «Sparta»

Приведенный график согласованной работы судов в системе «ББС-морское судно» позволяет наглядно определить необходимое количество транспортных средств, выполняющих работу за цикл, оценить их работу, учесть возможные задержки в пути, как в пространстве, так и времени с целью рационального использования технических средств.

На основании графика рассчитываются экономические показатели. Их анализ позволяет судить о наилучшей комбинации барж и буксиров для работы на определенном направлении перевозок при прочих неизменных условиях рейса.

Целью варьирования количественным составом структурных элементов ББС является необходимость исключить или свести к минимуму время простоя составных элементов ББС и получить максимальную прибыль от перевозки.

Таким образом, рассмотренная методика:

1. Охватывает все этапы организации транспортного процесса перевозок грузов из пунктов зарождения грузопотоков внутри страны, через морские порты Украины до морских портов в странах назначения.
2. Обеспечивает непрерывный процесс перевозки грузов по внутренним водным путям, сводит к минимуму задержки судов в портах перевалки, обеспечивает регулярную подачу судов.
3. Позволяет определить наилучшее сочетание количества технических средств, при планировании работы морского и речного транспорта.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Щербина О.В. *Определение типоразмера барже буксирного состава* / О.В. Щербина // *Науковий журнал «Вісник СНУ ім. В. Даля»*. – 2017. – № 4(234). – С. 248-253.
2. Союзов А.А. *Организация и планирование работы морского флота: Учебн. пособие* / А.А. Союзов. – М.: *Морской транспорт*, 1979. – 416 с.
3. Казаков Н.Н. *Организация работы речного флота: Учебн. пособие* / Н.Н. Казаков. – Гомель: *БелГУТ*, 2012. – 294 с.
4. Шибяев А.Г. *Совершенствование методов оптимизации графика работы морских грузовых судов (на материалах Советского Дунайского пароходства): Автореф. канд. техн. наук* // А.Г. Шибяев. – Одесса, 1984. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com>.
5. Новиков А.В. *Совершенствование обоснования тягового обслуживания составов: Автореф. канд. техн. наук* // А.В. Новиков. – Н. Новгород, 1993. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tekhnosfera.com/sovershenstvovanie-obosnovaniya-tyagovogo-obsluzhivaniya-sostavov#ixzz52y2JZAED>
6. Егоров А.Г. *Модели эксплуатации составов смешанного река-море плавания* // *Морской вестник*. – 2015. – № 1. – С. 101-107.
7. Zhen L. et al. *Tug scheduling for hinterland barge transport: a branch-and-price approach*. // *European Journal of Operational Research*. – 2018. – Т. 265. – № 1. – С. 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.063>

8. Nauss R.M. *Optimal sequencing in the presence of setup times for tow/barge traffic through a river lock*. // *European Journal of Operational Research*. – 2008. – Т. 187. – № 3. – С. 1268–1281. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.06.071
9. *Організація транспортного процесу та управління роботою флоту на міжнародному ринку транспортних послуг в умовах глобалізації міжнародного судноплавства. Координація роботи морського та річкового транспорту (планування та кількісна оцінка)* // *Монографія / [авт. кол.: О.Г. Шибасєв, І.В. Савельєва, О.В. Кириллова, О.В. Щербина та ін.]*. – Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2015. – 171 с.
10. *Судноплавна компанія [Електронний ресурс]*. – Режим доступу: <http://www.nibulon.com/data/filii/sudnoplavna-kompaniya.html>
11. *Проект RDB06 речное сухогрузное несамоходное судно грузоподъемностью 2000 тонн типа «Европа 2Б» [Електронний ресурс]*. – Режим доступу: <http://www.meb.com.ua/dry/RDB06.html>
12. *Бунеев В.М. Организация работы порта по обслуживанию флота: Методические указания по выполнению раздела дипломного проекта / В.М. Бунеев*. – Новосибирск: НГАВТ, 2011. – 15 с.

Стаття надійшла до редакції 25.01.2018

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету **О.Г. Шибасєв**

доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету **В.П. Сторожев**

УДК 656.615: 658.589

**О ПОВЫШЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ СРОКОВ ОБНОВЛЕНИЯ СЛОЖНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

И.А. Лапкина, Н.А. Малаксиано

Аннотация. Исследуется влияние физического износа сложного оборудования на динамику показателей эффективности его использования. Установлена количественная связь между сроком замены оборудования и устойчивостью его суммарных удельных расходов. Предложена методика обоснования сроков обновления оборудования, при которых достигается баланс между минимальностью и устойчивостью суммарных удельных расходов на оборудование.

Ключевые слова: износ оборудования, замена оборудования, устойчивость показателей эффективности.

**ПРО ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ
ПРИ ПЛАНУВАННІ ТЕРМІНІВ ОНОВЛЕННЯ СКЛАДНОГО ОБЛАДНАННЯ**

І.О. Лапкина, М.О. Малаксіано

Анотація. Досліджується вплив фізичного зносу складного обладнання на динаміку показників ефективності його використання. Встановлено кількісний зв'язок між терміном заміни обладнання та стійкістю його сумарних питомих витрат. Запропоновано методику обґрунтування термінів оновлення обладнання, за яких досягається баланс між мінімальністю та стійкістю сумарних питомих витрат на обладнання.

Ключові слова: знос обладнання, заміна обладнання, стійкість показників ефективності.

**ON IMPROVING THE SUSTAINABILITY OF INDICATORS OF EFFECTIVENESS
AT THE PLANNING OF THE UPDATE OF COMPLETING EQUIPMENT UPDATES**

I.A. Lapkina, N.A. Malaksiano

The influence of wear and tear of complex equipment on the dynamics of its key performance indicators is studied.

A quantitative relationship has been established between the time of replacement of equipment and the stability of its total unit costs. A technique of justifying the equipment renewal terms is proposed, so that a balance is attained between the minimum and the stability of the total unit costs for the equipment.

Keywords: wear and tear of equipment, equipment replacement, stability of the key performance indicators.

© Лапкина И.А., Малаксиано Н.А., 2018

Введение. Для большинства предприятий затраты на оборудование составляют значительную часть расходов. Поэтому рациональное планирование сроков замен оборудования имеет большое значение для эффективной работы многих предприятий, и в том числе для морских портов.

При выборе оптимальной стратегии управления заменами сложного портового оборудования необходимо принимать во внимание то, что как правило, такое оборудование имеет длительный срок службы, в течение которого могут происходить существенные колебания уровня загрузки.

Поэтому при планировании сроков замен сложного портового оборудования необходимо учитывать не только средние ожидаемые показатели эффективности его функционирования, но и оценивать уровень устойчивости этих показателей к возможным колебаниям значений внешних факторов. Есть ряд публикаций, посвященных изучению данных вопросов. Так, в работах [1; 2] рассмотрены модели старения оборудования, функционирующего в условиях постоянной загрузки. Модели управления функционированием технических систем, в том числе вероятностные модели управления воспроизводством и управлением надежностью транспортного оборудования, были предложены в [3-5]. Задачи оптимального управления транспортными системами, работающими в условиях неравномерной загрузки, а также задачи выбора оптимальных стратегий ремонтов и замен сложного портового оборудования были рассмотрены в работах [6]-[10]. Однако ряд практически важных вопросов все еще остается исследованным недостаточно и требует дальнейшего изучения.

Изучение вопросов оптимальных сроков замен оборудования часто основаны на использовании сложных аналитических методов теории динамических систем, методов оптимального управления или имитационного моделирования (см., например, [8]-[10]). Эти методы помогают более точно описывать процессы старения оборудования. Подобные исследования играют важную роль в развитии теории, однако, далеко не всегда они могут быть легко реализованы на практике для проведения текущих инженерных расчетов. Универсальных методов планирования сроков замен оборудования, учитывающих всю специфику работы оборудования любого типа, не существует. Для каждой конкретной производственной задачи, как правило, необходимо индивидуально подбирать математическую модель, составлять и исследовать системы дифференциальных уравнений, обосновывать параметры, подбирать численные методы исследования и т.д. Зачастую использование сложных современных моделей требует высокой теоретической подготовки инженеров, реализующих эти методы на практике, наличие специального программного обеспечения и эффективной системы мониторинга за параметрами изучаемой системы. Все эти требования существенно тормозят внедрение передовых исследований на практике. Поэтому, несмотря на то, что

сложные модели позволяют максимально точно описывать предметную область, существует достаточно острая потребность в разработке и адаптации к конкретным производственным условиям относительно простых в использовании методов и моделей, которые, с одной стороны, позволяли бы моделировать все основные особенности и принципы изучаемой предметной области, а, с другой стороны, были бы легко формализуемы в виде производственных инструкций и могли быть реализуемы теми средствами, которые общедоступны на большинстве производств.

Цель статьи. Целью данной статьи является обоснование методики определения сроков замены сложного оборудования, основанной на использовании статистических данных использования аналогичного оборудования за прошлые годы и учитывающей как средние значения показателей эффективности использования оборудования, так и устойчивость этих показателей к возможным воздействиям случайных факторов. При этом предлагаемая методика должна быть достаточно универсальной, легко формализуемой в виде простых конкретных указаний и для ее использования не требовалось бы привлечения сложного математического аппарата и специального программного обеспечения. А также предлагаемая методика должна быть не слишком требовательна к полноте используемых статистических данных и позволяла бы давать удовлетворительные прогнозы даже для случая малой выборки или неполных данных.

Изложение основного материала. Во многих случаях в качестве основного показателя эффективности эксплуатации оборудования естественно рассматривать среднюю удельную себестоимость единицы наработки оборудования, которая может выражать как себестоимость часа работы оборудования (долл. / ч.), так и себестоимость производства единицы продукции с помощью данного оборудования (долл./т, долл./км, и т.п.). Себестоимость единицы наработки оборудования складывается из капитальных и текущих расходов. В свою очередь, капитальные расходы включают в себя расходы на приобретение и монтаж оборудования, а также возможные расходы на капитальные ремонты. Текущие расходы состоят из расходов на текущие ремонты, техническое обслуживание, энергоносители и смазочные материалы. С одной стороны, чем дольше оборудование будет использоваться, тем меньше капитальных издержек будет приходиться на единицу его наработки. С другой стороны, если оборудование будет использоваться слишком долго, из-за физического износа текущие расходы, связанные с оборудованием, могут существенно вырасти и достичь недопустимо больших значений. Таким образом, необходимо выбирать сроки замены оборудования так, чтобы достигался баланс между удельными капитальными и текущими издержками.

Обозначим $R_c(t)$ – функцию кумулятивных капитальных расходов, накопленных за t лет от момента начала работы оборудования, а $R_o(t)$ – функцию кумулятивных текущих расходов, накопленных за t лет от момента его покупки. Тогда общие суммарные расходы оборудования за время t равны

$$R(t) = R_c(t) + R_o(t). \quad (1)$$

Рассмотрим удельные расходы, которые будут приходиться на единицу наработки оборудования, если оборудование будет работать на протяжении t лет. Рассмотрим функцию удельных капитальных расходов $r_c(t)$, функцию удельных текущих расходов $r_o(t)$ и функцию общих удельных расходов $r(t)$, которые определяются по формулам

$$r_c(t) = \frac{R_c(t)}{t}, \quad r_o(t) = \frac{R_o(t)}{t}, \quad r(t) = r_c(t) + r_o(t). \quad (2)$$

На рис. 1 представлена типичная динамика изменения значений удельных расходов оборудования. Аналогичные изображения можно встретить в литературе, посвященной исследованию износа оборудования (см., например, [6]). На всех графиках, приведенных в этой статье, по оси абсцисс представлено время в годах, а по оси ординат – расходы, измеряемые либо в тыс. дол, либо в тыс.дол./год в зависимости от контекста.

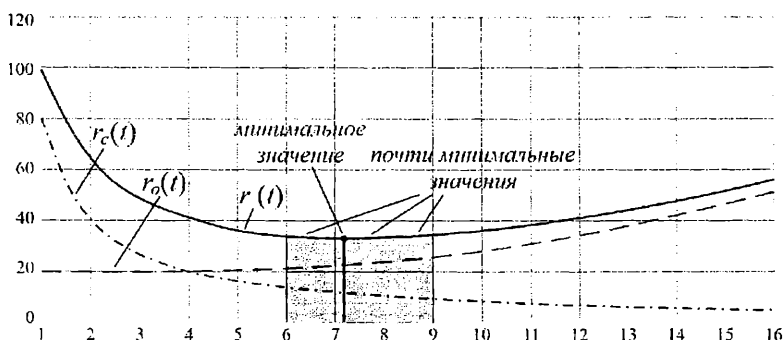


Рис. 1. Кривые изменения удельных расходов без дисконтирования

Из рис. 1 видно, что оборудование целесообразно заменить через 7 лет, когда значение удельных расходов будет минимальным.

Поскольку сложное оборудование, как правило, рассчитано на долгосрочное использование, при анализе финансовых потоков, связанных с эксплуатацией этого оборудования, необходимо использовать дис-

континирование. Предполагая, что функция удельных текущих расходов непрерывно дифференцируема, можно найти настоящее значение текущих расходов за любой промежуток времени с учетом дисконтирования

$$r_o^d(t) = \frac{1}{t} \int_0^t R_o'(t) \cdot e^{-\frac{\delta \tau}{100}} d\tau, \quad (3)$$

где $r_o^d(t)$ – средние текущие удельные расходы за первые t лет эксплуатации оборудования с учетом дисконтирования;

$R_o'(t)$ – производная функции $R_o(t)$, которая показывает интенсивность текущих расходов в каждый момент времени t ;

δ – годовая процентная ставка при непрерывном начислении процентов.

Аналогично можно провести дисконтирование для любой кумулятивной функции расходов и функции средних текущих удельных расходов. На рис. 2 представлена кривая удельных капитальных расходов $r_c^d(t)$, кривая удельных операционных расходов $r_o^d(t)$, а также кривая общих удельных расходов $r^d(t)$ с учетом дисконтирования. Как можно видеть, после дисконтирования скорость роста общих удельных расходов заметно уменьшилась, а точка минимума сместилась вправо почти на 2 года и составила приблизительно 9 лет. Также следует отметить, что после дисконтирования заметно увеличился диапазон значений, при которых достигаются почти оптимальные значения общих удельных расходов (см. рис. 2).

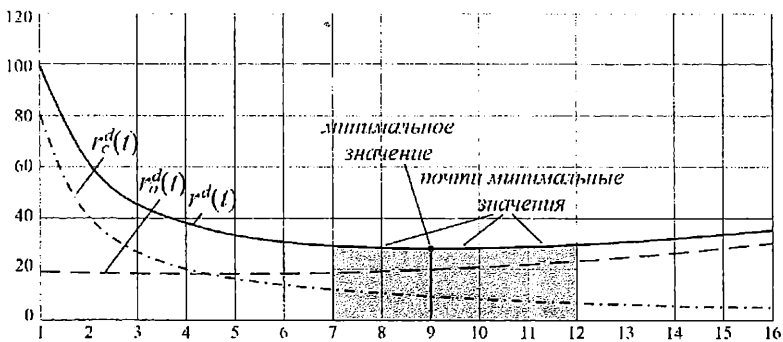


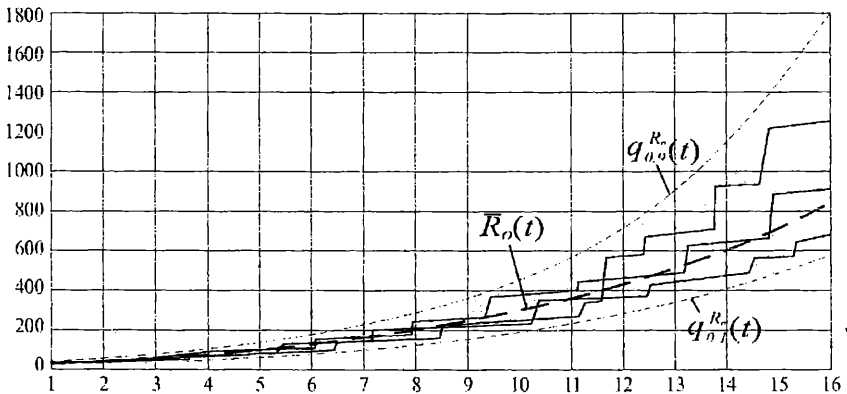
Рис. 2. Кривые изменения удельных расходов с дисконтированием

Для того, чтобы определить наименьший уровень общих удельных расходов и, соответственно, оптимальный срок обновления оборудования, достаточно иметь прогноз изменения $r_c^d(t)$ и $r_o^d(t)$.

На практике прогнозирование будущих значений функции $r_c^d(t)$ не представляет трудности, т.к. чаще всего капитальные затраты на

покупку оборудования вносятся на начальном этапе эксплуатации оборудования, размеры капитальных затрат обычно известны заранее и не подвержены каким-либо случайным колебаниям. С прогнозированием значений $r_o^d(t)$, как правило, ситуация значительно сложнее.

Во-первых, $r_o(t)$ может изменяться скачками. Это связано с тем, что, хотя износ оборудования может накапливаться непрерывно, финансирование текущих ремонтов оборудования обычно выполняется дискретно. Во-вторых, из-за различных случайных факторов точно предсказать будущие значения функций $R_o(t)$ и $r_o^d(t)$, как правило, невозможно. Так, имея две одинаковые машины и используя их в идентичных условиях, для них можно иметь совершенно разные кривые текущих расходов. Поэтому, говоря о планировании будущих значений текущих расходов, корректно говорить не о точных значениях, а об их законах распределений в каждый момент времени t . Имея достаточную базу статистических наблюдений за текущими расходами машин данного типа, на практике не представляет сложности оценить эти законы распределений. На рис. 3 сплошными ломаными линиями представлены типичные кривые изменения значений $R_o(t)$ для нескольких однотипных машин, полученные в результате наблюдений. Имея достаточное количество таких наблюдений, можно оценить средние значения $\bar{R}_o(t)$, степень разброса и другие параметры законов распределения этих значений в каждый момент времени t .



*Рис. 3. Примеры изменений $R_o(t)$ с ростом t
для разных машин одного и того же типа*

На рис. 4 представлены кривые $q_{0,1}^{R_o(t)}(t)$ и $q_{0,9}^{R_o(t)}(t)$, показывающие изменения 10 % и 90 % квантилей распределений значений $R_o(t)$ в различные моменты времени t , а также изображена диаграмма «ящик с усами», иллюстрирующая изменение закона распределения суммарных

текущих расходов $R_o(t)$ с течением времени. С помощью такой диаграммы можно проследить, как со временем увеличивается разброс возможных значений $R_o(t)$. Это говорит о том, что чем дольше планируется использовать оборудование, тем становится сложнее спрогнозировать уровень общих текущих расходов. Также из диаграммы «ящик с усами» можно заметить, что распределение значений $R_o(t)$ имеет сначала симметричную форму, но с ростом t распределение становится все более асимметричным. Это можно объяснить тем, что, как правило, сначала колебания текущих расходов объясняются мелкими случайными поломками и различиями в условиях работы, в результате чего распределение значений $R_o(t)$ при малых t близко к нормальному.

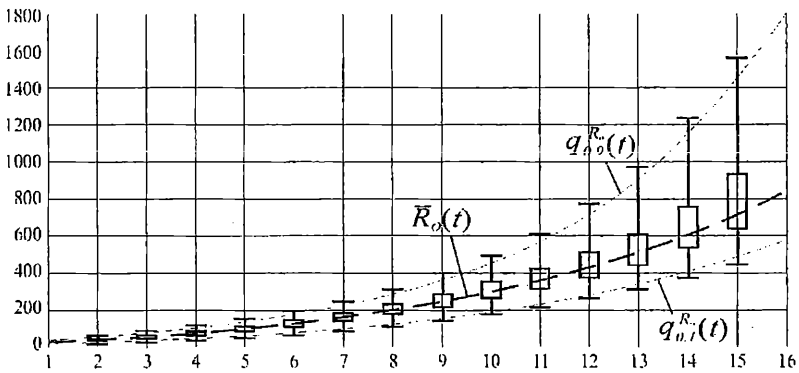


Рис. 4. Диаграмма «ящик с усами», иллюстрирующая распределение значений $R_o(t)$ для разных машин при разных фиксированных значениях t

С течением времени возрастает вероятность нечастых, но сильных негативных выбросов значений $R_o(t)$, в результате чего распределение значений $R_o(t)$ с ростом t обычно имеет все более «толстый хвост». Используя имеющиеся данные анализа тенденций изменений $R_o(t)$, далее можно спрогнозировать тенденции изменений $r_o^d(t)$ и $r^d(t)$, а также уровни их возможных колебаний.

На рис. 5 представлена кривая $\bar{r}_o^d(t) = \frac{1}{t} \bar{R}_o(t)$ вместе с соответствующими линиями квантилей $q_{0,1}^{r_o^d}(t) = \frac{1}{t} q_{0,1}^{R_o}(t)$ и $q_{0,9}^{r_o^d}(t) = \frac{1}{t} q_{0,9}^{R_o}(t)$, показывающими границы, в пределах которых с вероятностью 80 % будут на-

ходиться значения $r_o^d(t)$. Также изображена кривая $\bar{r}^d(t) = r_c^d(t) + \bar{r}_o^d(t)$ вместе с соответствующими линиями квантилей $q_{0,1}^{r^d}(t) = r_c^d(t) + q_{0,1}^{r_o^d}(t)$ и $q_{0,9}^{r^d}(t) = r_c^d(t) + q_{0,9}^{r_o^d}(t)$.

Линии квантилей $q_{0,1}^{r^d}(t)$ и $q_{0,9}^{r^d}(t)$ показывают границы, в которых с вероятностью 80 % могут находиться будущие значения $r^d(t)$ (рис. 5; 6). Также на рис. 6 пунктиром представлены кривые для квантилей $q_{0,25}^{r^d}(t)$ и $q_{0,75}^{r^d}(t)$.

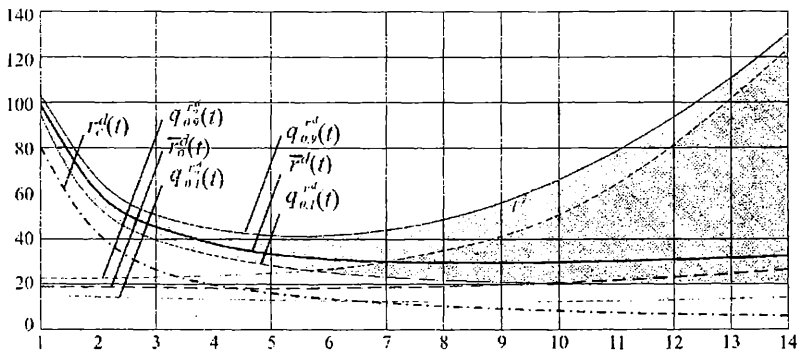


Рис. 5. Линии изменения средних удельных расходов оборудования и их 10 % и 90 % квантили

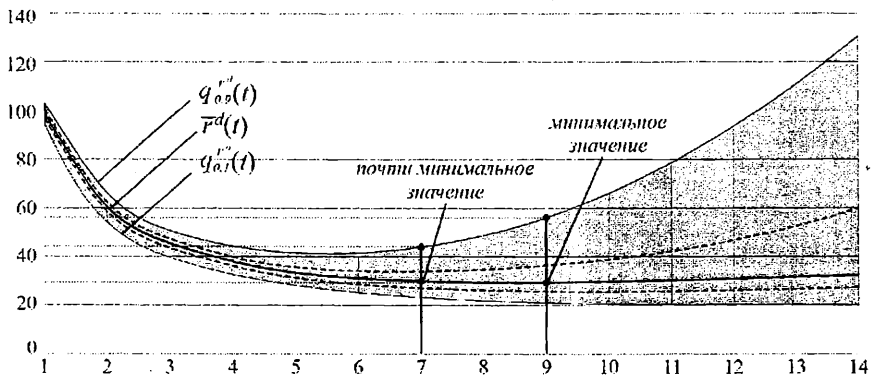


Рис. 6. Изменение общих средних удельных расходов и их квантилей

Из рис. 6 видно, что в промежутке времени от 7 до 12 лет значения $\bar{r}^d(t)$ почти одинаковы. Однако на этом же промежутке времени наблюдается существенный рост функции $q_{0,9}^{r,d}(t)$.

То есть, при практически неизменных средних ожидаемых значениях удельных расходов наблюдается существенное увеличение неопределённости. Например, если планировать замену оборудования не через 9 лет, а через 7 лет, то средние удельные расходы практически не изменятся и составят приблизительно 30 тыс. долл./год., но при этом степень неопределённости заметно сократится.

Так, при планировании обновления оборудования через 9 лет средние удельные расходы не превысят уровня 55 тыс. долл./год. с вероятностью 90 %, в то время как при планировании замены оборудования через 7 лет средние удельные расходы с той же вероятностью не превысят уровня 45 тыс. дол. / год.

Заключение. Чем дольше планируется использовать оборудование, тем, как правило, сильнее возрастает неопределённость показателей эффективности его использования. Даже при том, что средние значения удельных расходов с течением времени могут изменяться незначительно, вместе с тем, форма закона распределения может существенно изменяться. При этом зачастую наблюдается увеличение диапазона разброса возможных значений удельных расходов. При увеличении планируемого времени использования оборудования у распределения значений удельных расходов часто появляется «толстый хвост», свидетельствующий об увеличении вероятности нежелательных выбросов в сторону увеличения расходов.

В данной статье предложена методика оценки уровня будущих расходов, связанных с использованием сложного оборудования, позволяющая обосновывать такие сроки обновления оборудования, при которых достигается баланс между минимальностью и устойчивостью удельных расходов на оборудование.

Использование предлагаемых методов наиболее эффективно при планировании сложного немассового оборудования на промежутке времени, сопоставимом со средним сроком службы этого оборудования. Если парк оборудования состоит из очень большого количества машин, то средние показатели эффективности, рассчитанные для всего парка оборудования, будут мало подвержены воздействию случайных колебаний в силу закона больших чисел. По этим же причинам будет возрастать устойчивость средних показателей эффективности функционирования для цепочки последовательно заменяемых машин, если рассматриваемый горизонт планирования будет значительно превышать средний срок службы машин.

Предложенная в данной работе методика универсальна и может быть применима не только для обоснования срока службы оборудования, но и для других материальных активов, чьи потребительские качества подвержены воздействию случайных факторов и имеют тенденцию ухудшаться с течением времени, например, для различных объектов транспортной инфраструктуры и объектов недвижимости.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Селиванов А.И. Основы теории старения машин [Текст] / А.И. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1971. – 408 с.
2. Консон А.С. Экономика ремонта машин [Текст] / А.С. Консон. – Л.: Машиностроение, 1970. – 216 с.
3. Шахов А.В. Проектно-ориентированное управление функционированием ремонтпригодных технических систем [Текст]: Монография / А.В. Шахов, В.И. Чимшир. – Одеса: Феникс, 2006. – 238 с.
4. Ширяева Л.В. Методы и модели управления воспроизводством парков оборудования. Вероятностный поход [Текст]: Монография / Л.В. Ширяева. – Одесса: Астропринт, 2008. – 256 с.
5. Корниец Т.Е. Методы оценки влияния ограниченной надежности перегрузочных машин на время обработки судна [Текст] / Т.Е. Корниец // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – 2007. – Вип. 22. – С. 44-53.
6. Лапкина И.А. Оптимизация структуры парка портового оборудования, функционирующего в условиях неравномерной загрузки [Текст] / И.А. Лапкина, М.А. Малаксиано, Н.А. Малаксиано // Актуальні проблеми економіки. – 2016. – № 9. – Вип. 183. – С. 364-371.
7. Лапкина И.А. Моделирование и оптимизация системы доставки скоропортящихся грузов через одесский порт [Текст] / И.А. Лапкина, Н.А. Малаксиано // Актуальні проблеми економіки. – 2016. – № 3. – Вип. 177. – С. 353-365.
8. Малаксиано Н.А. О планировании оптимальных сроков ремонтов и замен сложного портового оборудования при неполностью определенном прогнозе уровня занятости [Текст] / Н.А. Малаксиано // Економічна кібернетика. – 2012. – № 4-6 (76-78). – С. 49-56.
9. Малаксиано Н.А. Использование многокритериальных оценок для уменьшения рисков при планировании ремонтов и замен сложного портового оборудования, функционирующего в условиях неполностью определенного грузопотока [Текст] / Н.А. Малаксиано // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2013. – № 1 (20). – С. 7-27.

10. Малаксиано Н.А. Об оптимальных сроках ремонтов сложного портового оборудования [Текст] / Н.А. Малаксиано // Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Економіка. – 2012. – Вип. 6(3). – С. 186-195.
11. Оксендаль Б. Стохастические дифференциальные уравнения. Введение в теорию и приложения [Текст] / Б. Оксендаль. – М.: Мир, 2003. – 408 с.

Стаття надійшла до редакції 15.01.2018

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 005.4: 001.89

**МЕХАНІЗМИ ПРОЕКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ
ІННОВАЦІЙНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ**

В.І. Чимшир, В.М. Пітерська

***Анотація.** На основі аналізу національної та міжнародної теорії, методів і практики проектно-орієнтованого управління інноваційною діяльністю, виявлено, що фінансова підтримка інноваційного проектування в нашій країні значно нижча показників закордонних держав. Розроблений механізм управління забезпечує ефективне включення певної розробки в портфель інноваційної діяльності, враховуючи проектно-орієнтований підхід при проведенні наукових досліджень.*

***Ключові слова:** управління проектами, інноваційна діяльність, інноваційний проект, життєвий цикл, мультипроект.*

**МЕХАНИЗМЫ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ**

В.И. Чимшир, В.М. Питерская

***Аннотация.** На основе анализа национальной и международной теории, методов и практики проектно-ориентированного управления инновационной деятельностью, выявлено, что финансовая поддержка инновационного проектирования в нашей стране значительно ниже показателей иностранных государств. Разработанный механизм управления инновационной деятельностью обеспечивает эффективное включение определенной разработки в портфель, учитывая проектно-ориентированный подход при проведении научных исследований.*

***Ключевые слова:** управление проектами, инновационная деятельность, инновационный проект, жизненный цикл, мультипроект.*

**MECHANISMS OF PROJECT-BASED MANAGEMENT
OF INNOVATIVE ACTIVITY**

V.I. Chymshyr, V.M. Pitera

***Abstract.** The established mechanism of project-oriented management of the system of state incentives for the development of innovation activity in organizations allows at various stages of innovation planning a decision on the further extension or suspension of an innovation project, depending on the results obtained at a certain stage of the research, taking into account the definition of points of bifurcation.*

© Чимшир В.І., Пітерська В.М., 2018

On the basis of the model of portfolio management, innovative activity ensures the effective inclusion of a certain development in the portfolio of innovation activity using the expert evaluation method, the result of the collective decision is the distribution of funding among the participants of the innovation activity, as well as the creation of network structures that carry out innovation activity.

The application of the proposed model for financing expenditures in the course of scientific activity by the staff of a higher educational establishment makes it possible to apply compensatory mechanisms for the rejection of the declared indicators of scientific work from the actual ones.

Keywords: *project management, innovation activity, innovation project, life cycle, multiproject.*

Вступ. Інтенсивне проведення досліджень та розробка на їх основі новітніх технологій, вихід із ними на світові ринки та розгортання міжнародної інтеграції в науково-виробничій сфері фактично вже стали стратегічною моделлю економічного зростання для розвинених країн. Причому інтелектуальні ресурси спільно з новітніми технологіями не тільки визначають перспективи економічного зростання, але і служать показником рівня незалежності й добробуту країни.

Враховуючи аналіз інноваційного розвитку розвинених країн, варто зазначити, що першочерговим завданням формування інноваційної моделі розвитку в Україні має стати подолання хибного уявлення про можливість зробити це шляхом механічного відновлення необхідних рівнів державного фінансування науково-технічної сфери. При цьому йдеться не лише про практичну неможливість акумулювання потрібного обсягу коштів за сучасного стану державних фінансів на даний час у державі. На сьогоднішній день в країні простежується безперспективність вкладення коштів у відновлення наукової сфери з причини відсутності адекватних сучасній ринковій економіці ланцюгів взаємозв'язку науки, технологій та виробництва.

Аналіз основних досягнень і літератури. Негативні явища в науково-технічній та інноваційній сфері набувають незворотного характеру і є загрозою технологічній та економічній безпеці України, що потребує невідкладних заходів як з боку вищого керівництва країни, так і виконавчої влади усіх рівнів. Однак, проблема не стільки в недостатності фінансування інноваційної діяльності, скільки в дуже низькій ефективності вкладених в науково-технічний розвиток коштів. Без кардинальної зміни системи управління інноваційною діяльністю на основі використання науково-обґрунтованої методології проектно-орієнтованого управління досягти результатів в сфері наукових досліджень та їх впровадження у виробництво неможливо.

Теоретичні засади інноваційного розвитку та питання управління інноваційними процесами висвітлено у роботах таких відомих вчених, як С.Д. Бушуєв [1; 3], Н.С. Бушуєва [1], Ярошенко Р.Ф. [1; 3], С.К. Чернов

[2], О.С. Ванюшкін [4], Х. Танака [3], І.А. Бабаєв [5], І.В. Чумаченко [6], тощо. Однак теоретичні дослідження процесу моделювання інноваційного проектування не пророблені в достатній мірі.

Наявні методи управління інноваційною діяльністю не дають змогу кількісно оцінити всю множину ризиків в процесі реалізації інноваційних проектів, що не дозволяє розподілити їх між різними учасниками таких проектів таким чином, щоб врахувати інтереси всіх стейкхолдерів інноваційної діяльності.

Метою дослідження є розробка механізмів управління інноваційною діяльністю з урахуванням проектного підходу.

Завданням дослідження є розгляд процесів проектного управління життєвим циклом інноваційної системи та розробка на цій основі концептуальних основ і механізмів проектування інноваційної діяльності.

Матеріали дослідження. Згідно з проведеними дослідженнями можна зробити висновок про відсутність в Україні раціональної стратегії інноваційного розвитку. Враховуючи існуючий науковий потенціал та сприятливі умови забезпечення функціонування наукомістких підприємств ефективним вважається перехід до концептуальних основ застосування проектного підходу і інноваційній сфері.

Важливо відмітити, що, у зв'язку з необхідністю концентрації зусиль учених в умовах інтенсивного науково-технічного прогресу, виникає необхідність розробки і реалізації нової концепції управління науковими дослідженнями, в основі якої лежить проектно-орієнтований підхід до організації інноваційної діяльності.

Рівень розвитку системи державного управління залежить від впровадження нових форм організації та забезпечення якості результатів наукових досліджень. Встановлено, що застосування проектно-орієнтованого підходу до управління інноваційною діяльністю вважається одним із ефективних інструментів для налагодження командної роботи та раціонального впровадження результатів, отриманих науковцями, а також створення внутрішніх мотивацій для забезпечення необхідного синергетичного ефекту практичної реалізації результатів науково-дослідних робіт.

Проблема вирішення питання управління науковими дослідженнями обумовлює необхідність удосконалення існуючих методів проведення інноваційної діяльності на основі аналізу застосування відповідних моделей провідних країн світу, в тому числі з урахуванням існуючих тенденцій розвитку в організаційних структурах наукомістких підприємств. На сьогодні українська наука фінансується державою на рівні менше 0,3 %.

В Європейському Союзі згідно із Лісабонською стратегією визначена мета щодо скерування валових витрат на наукові дослідження і розробки (Research and Development – R&D) на рівні 3 % від ВВП, яка буде підтримуватися у наступні роки, як одна з п'яти ключових цілей європейської стратегії до 2020 року.

Але і частка витрат на науку у відсотках від ВВП не повністю відображає рівень її фінансування, оскільки істотно відрізняється вихідний показник для різних країн – величина ВВП. Не менш важливим показником при аналізованні витрат на наукові дослідження є рівень витрат на R&D в розрахунку на одного громадянина країни та одного науковця.

Більше всього науковців працюють у вищих навчальних закладах, що підпорядковуються Міністерству освіти і науки України. Адже, саме науково-педагогічні працівники здійснюють значний внесок у розвиток вітчизняної науки. Але, якщо порівнювати витрати на проведення наукових досліджень, то найбільша частка коштів направляється на забезпечення діяльності Національної академії наук України. Натомість для Міністерства освіти і науки України сума витрат значно нижча.

Проаналізувавши напрями державної політики в області наукової діяльності, можна з впевненістю стверджувати, що фінансування здійснюється за не зовсім зрозумілою схемою.

Тобто Україна фінансує не результати інноваційних проєктів, а направляє гроші на підтримку в належному стані наукових інститутів, переказуючи кошти на опалення, інші комунальні послуги, утримання будівель тощо, що негативно відображається на науковому процесі. Кошти йдуть не дослідникам, а витрачаються на фінансування різного роду структур. Невисокий рівень оплати праці в науковій сфері сприяє відтоку кваліфікованих спеціалістів з України.

В Україні інновації досі не стали належним засобом підвищення конкурентоспроможності. Відтак завдання переходу до інноваційної моделі розвитку зберігає свою актуальність, яка істотно посилюється у світлі сучасних зовнішніх і внутрішніх тенденцій розвитку.

Встановлено, що реалізація інноваційного проєкту передбачає здійснення комплексу технічних, виробничих, економічних і організаційних заходів, об'єднаних однією генеральною метою, та складається з кількох етапів процесу «дослідження-виробництво», узгоджених за ресурсами, термінами і виконавцями. Інноваційне проєктування містить систему взаємопов'язаних цілей і програм їхнього досягнення, яка становить комплекс науково-дослідних, дослідно-конструкторських, виробничих, організаційних, фінансових, комерційних та інших заходів, відповідно організованих, оформлених комплектом проєктної документації, що забезпечують ефективне вирішення конкретного науково-технічного завдання (проблеми), вираженого в кількісних показниках, і сприяють інновації.

Ефективність функціонування фінансово-економічної сфери багато в чому залежить від розвитку розгалуженої виробничо-технологічної підсистеми, яка формує чітку сітьову модель управління інноваційним розвитком.

Розглядаючи проєкт в якості комплексу заходів і дій, спрямованих на досягнення унікального результату в умовах чинних обмежень щодо

часу, коштів і виконавців [1], можна стверджувати що науково-дослідна робота – зручний об'єкт для застосування методології проектного менеджменту, адже наукова діяльність виконується в умовах визначених обмежень щодо часу, фінансування та виконавців, а також спрямована на досягнення унікального результату.

Використання проектно-орієнтованого управління інноваційною діяльністю пояснюється необхідністю підсилення контролюючих заходів за витрачанням коштів, враховуючи рівень державного фінансування наукових досліджень.

Слід зазначити, що структуризація досліджень, враховуючи проектний підхід, дозволяє привертати до виконання наукового проекту фахівців, що володіють різносторонніми знаннями і навичками, а також створювати проектну команду, діяльність якої націлена на якісний результат.

При цьому під життєвим циклом інноваційного проекту будемо розуміти період часу, в рамках якого має місце виконання мультипроекту, змістом якого є перебіг процесів інноваційної діяльності, з метою отримання та подальшої реалізації інноваційного продукту.

Життєвий цикл інноваційного проекту передбачає весь комплекс робіт від початку здійснення наукових досліджень, отримання продукту інноваційного проекту, його впровадження у виробництво і подальшу реалізацію (рис. 1).

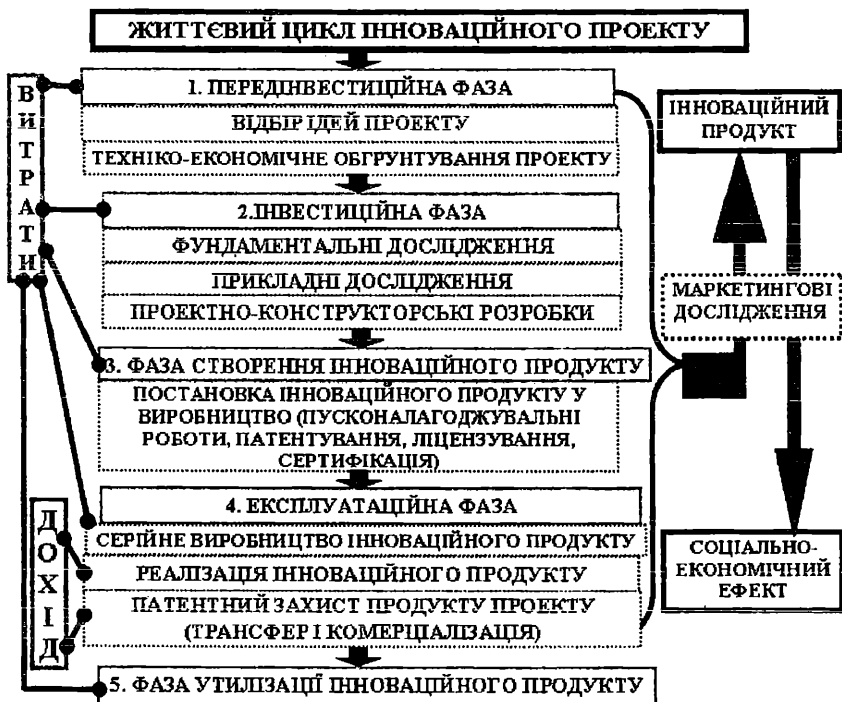


Рис. 1. Фази життєвого циклу інноваційного проекту

Поняття мультипроєкту визначаємо як цільову програму, яка складається з комплексу етапів в рамках інноваційного проєктування, які виконуються різними організаціями, що об'єднані єдиною метою.

Оцінка соціально-економічного ефекту від реалізації інноваційних проєктів заснована на якості виконання інноваційної діяльності шляхом створення конкурентоспроможного інноваційного продукту та його освоєння визначеною групою зацікавлених осіб.

При управлінні інноваційною діяльністю передбачається визначення завдань проєкту відповідно до заданої потреби, варіантів їх вирішення, оцінка і вибір найкращого варіанту чи паралельних варіантів, побудова моделі управління для визначення результату вирішення задачі, впровадження результатів дослідження. З цього випливає доцільність розподілу учасників інноваційного проєкту на групи науковців, виробників, маркетологів тощо, що працюють в різних організаціях на досягнення єдиної мети [7].

Проаналізувавши напрями державної політики в області наукової діяльності, можна з впевненістю стверджувати, що фінансування здійснюється за неефективною схемою. Держава фінансує не результати інноваційної діяльності, а направляє гроші на підтримку життєдіяльності неефективних науково-дослідних інститутів та «мізерну» оплату праці їх співробітників.

При цьому виникає ситуація незацікавленості науковців у подальшому впровадженні результатів їх досліджень і звіти з науково-дослідних робіт залишаються у паперовому вигляді.

Умовно позитивним досвідом можна вважати функціонування високотехнологічних підприємств (НВКГ ««Зоря»-«Машпроєкт»», заводи «Антонов», «ПІВДЕНМАШ» тощо), в яких науково-дослідні підрозділи входять до структури заводів і виконують дослідження у відповідній галузі. Однак кількість таких підприємств в Україні вимірюється одиницями і вони не можуть кардинально змінити ситуацію.

Потрібно провести зміну концепції фінансування інновацій, а саме переходити до проєктного управління інноваційною діяльністю і об'єднати в один проєкт весь комплекс робіт від розробки ідеї до реалізації продуктів інноваційної діяльності, навіть і у випадку, коли виконанням цього проєкту займаються різні спеціалізовані організації [8].

Встановлено, що, так як інноваційну діяльність здійснюють різні організації, об'єднані спільною метою, то весь комплекс інноваційних проєктів всіх учасників є програмою, що має на меті єдину місію щодо отримання соціально-економічного результату внаслідок виготовлення інноваційного продукту. Проєкти в рамках інноваційної програми пов'язані єдиним результатом.

Якщо розглядати етап проведення розробок науково-дослідними установами, у такому разі для інноваційного проєктування може представлятися безліч проєктів. Однак, метою діяльності наукових організацій є включення в портфель саме тих наукових проєктів, внаслідок реалізації

яких буде отримано конкурентоспроможний інноваційний продукт. Тобто, у цьому випадку науково-дослідні установи управляють портфелями проектів, що дозволяє на основі встановлення пріоритетів ефективно досягати стратегічні цілі організації з урахуванням ресурсних обмежень (рис. 2).

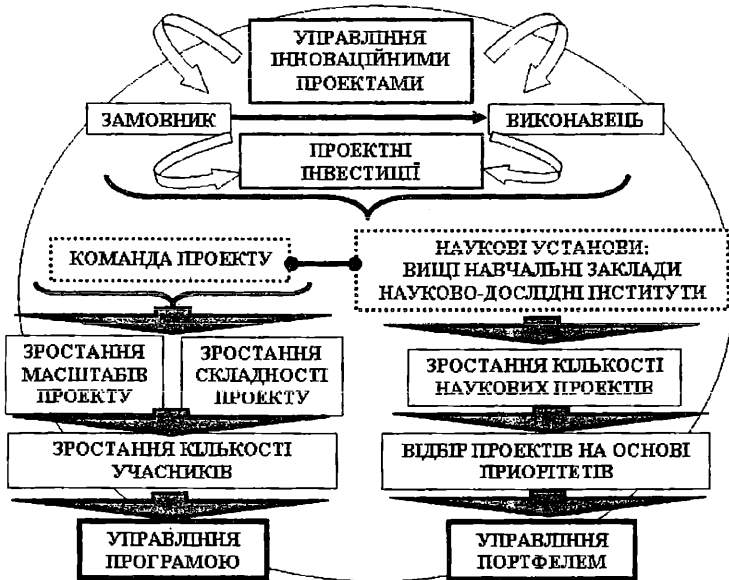


Рис. 2. Програмне та портфельне управління інноваційними проектами

Така ситуація передбачає отримання доходу від виконання проектних розробок, а також дивідендів від патентування вже отриманого інноваційного продукту, які можуть направлятися на нові проекти, що будуть у майбутньому виконуватись науково-дослідною організацією.

При цьому необхідно навчитися розподіляти відповідальність за отримані результати на певному етапі інноваційної діяльності між всіма її учасниками. Адже, на сьогоднішній день, на початковому етапі проектування вчений отримує фінансування, але він не гарантує результат та не несе ризики неуспішності інноваційного проекту [9].

Пропонується здійснювати часткове фінансування на початковій стадії та подальше направлення грошових коштів, отримавши реальний конкурентоспроможний результат інноваційного проектування, тобто при продажі продукту проекту. У цій ситуації ризиком буде управляти кожен учасник в рамках своєї відповідальності за визначений етап.

Висновки. Зусиль на розробку реформування інноваційної інфраструктури за передовими технологіями за останні роки витрачалося багато, але, як показують реалії, їх результативність не дуже велика. Об'єднання науки і виробництва має свої переваги – наука відчуває потреби виробництва, вони мають спільні цілі. Однак, не вигідно у штаті виробничого підприємства тримати академіків, професорів, які би виконували інноваційні дослідження. Ефективність такої співпраці буде набагато нижче, чим при здійсненні розробок у спеціалізованих науково-дослідних інститутах. Використання запропонованих механізмів проектно-орієнтованого управління інноваційною діяльністю дозволить зробити більш раціональним та ефективним процес організації, планування, контролю за виконанням та впровадженням результатів науково-дослідної роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бушуєв С.Д., Бушуєва Н.С., Ярошенко Р.Ф. *Модель гармонізації цінностей програм розвитку організацій в умовах турбулентності оточення [Текст]* / С.Д. Бушуєв, Н.С. Бушуєва, Р.Ф. Ярошенко. – К.: КНУБА, 2012. – С. 9-12.
2. Чернов С.К. *Ефективні організаційні структури в управлінні програмами розвитку наукомістких підприємств [Текст]* / С.К. Чернов. – Миколаїв: НУК, 2007. – С. 19-21.
3. Ярошенко Р.Ф., Бушуєв С.Д., Танака Х. *Управление инновационными проектами и программами на основе системы знаний Р2М [Текст]* / Р.Ф. Ярошенко, С.Д. Бушуєв, Х. Танака. – К.: Саммит-книга, 2011, – С. 28-35.
4. Ванюшкин А.С. *Формирование конфигурации инновационного проекта [Текст]* / А.С. Ванюшкин. – К.: УПС, 2012. – С. 5-8.
5. Бабаев И.А. *Инновационная технология в управлении программами развития организаций на основе генетической модели проектов [Текст]* / И.А. Бабаев. – К.: КНУСА, 2006. – С. 74-82.
6. Чумаченко И.В., Доценко Н.В. *Формирование Холистической ценности инновационных проектов и программ [Текст]* / И.В. Чумаченко. – Харьков: Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2011. – С.14-24.
7. Пітерська В.М. *Застосування проектно-орієнтованого підходу в управлінні інноваційною діяльністю [Текст]* / В.М. Пітерська // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Зб. наук. праць. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 1 (1173). – С. 35-42.

8. Пітерська В.М. Оцінка ризиків в інноваційних проектах методом достовірних еквівалентів [Текст] / В.М. Пітерська, А.В. Шахов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Зб. наук. праць. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 2 (1224). – С. 35-41.
9. *Piterska V.M., Kramskiy S.O. (2017) Methodological basis of innovative project-oriented organizations' management // Управління розвитком складних систем: Зб. наук. праць. – К.: КНУБА, С. 11-20. Режим доступу: http://urss.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-30/2_0.pdf.*

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, професор, академік Академії зв'язку України, відділення Міжнародної академії інформатизації – асоційованого члена Організації Об'єднаних націй **А.І. Рибак**

АВТОРИ

Алейніков Владислав Михайлович – аспірант кафедри «Технічні системи і процеси керування в судноводінні» Державного університету інфраструктури та технологій, штурман далекого плавання

Алєйніков Михайло Владиславович – аспірант кафедри «Технічні системи і процеси керування в судноводінні» Державного університету інфраструктури та технологій, капітан далекого плавання

Берневек Тетяна Іванівна – асистент кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету

Блажко Анатолій Петрович – доцент кафедри Гідротехнічного будівництва Одеської державної академії будівництва та архітектури

Давидов Ігор Пилипович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри Теорія та устрій судна Національного університету «Одеська морська академія»

Доронін Володимир Васильович – кандидат технічних наук, професор кафедри «Технічні системи і процеси керування в судноводінні» Державного університету інфраструктури та технологій

Єгоров Олександр Геннадійович – старший науковий співпрацівник Морського інженерного бюро, м. Одеса

Єгоров Геннадій В'ячеславович – доктор технічних наук, професор, генеральний директор Морського інженерного бюро, м. Одеса

Льницький Ігор Анатолійович – 1-й заступник генерального директора Морського інженерного бюро, м. Одеса

Іоргачев Вадим Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри Технологія машинобудування Одеського національного політехнічного університету

Іоргачев Дмитро Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Технологія матеріалів» Одеського національного морського університету

Калугін Ярослав Володимирович – заступник головного конструктора Морського інженерного бюро, м. Одеса

Кононова Ольга Миколаївна – старший викладач кафедри «Машинознавство» Одеського національного морського університету

Коношлов Анатолій Васильович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машинознавство» Одеського національного морського університету

АВТОРИ

Котенко Руслан Віталійович – ст. викладач кафедри «Технологія матеріалів» Одеського національного морського університету

Кукалець Людмила Миколаївна – аспірант, ст. викладач кафедри СЕУ, ДМ та їх експлуатації Факультету експлуатації технічних систем на водному транспорті Київського державного університету інфраструктури і технологій

Лапкіна Інна Олександрівна – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління логістичними системами і проектами» Одеського національного морського університету

Лимаренко Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри Динаміки, міцності машин та опору матеріалів Одеського національного політехнічного університету

Малаксіано Микола Олександрович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри «Управління логістичними системами і проектами» Одеського національного морського університету

Немчук Олексій Олегович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового технологічного обладнання» Одеського національного морського університету

Оробей Віктор Федорович – доктор технічних наук, професор кафедри Динаміки, міцності машин та опору матеріалів Одеського національного політехнічного університету

Панченко Тетяна Дмитрівна – в.о. асистента кафедри «Технічна кібернетика ім. проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

Пітерська Варвара Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» навчально-наукового інституту морського бізнесу Одеського національного морського університету

Рожко Олена Константинівна – асистент кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Одеського національного морського університету

Романов Олександр Андрійович – аспірант кафедри Динаміки, міцності машин та опору матеріалів Одеського національного політехнічного університету

АВТОРИ

Смажило Богдан Васильович – доцент кафедри «Технологія матеріалів» Одеського національного морського університету

Стальніченко Олег Іванович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри «Технологія матеріалів» Одеського національного морського університету

Стародуб Валерій Іванович – старший викладач кафедри «Технічна кібернетика ім. проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

Титов Сергій Дмитрович – доцент кафедри «Вища математика» Миколаївського Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова

Тонюк Валерій Іванович – технічний директор Морського Інженерного бюро, м. Одеса

Тузова Ірина Анатоліївна – старший викладач кафедри «Технічна кібернетика ім. проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

Челабчі Віктор Миколайович – кандидат технічних наук, професор кафедри «Технічна кібернетика ім. проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

Челабчі Володимир Вікторович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Технічна кібернетика ім. проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

Чернова Людмила Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри Інформаційних управляючих систем і технологій Миколаївського національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова

Чимшир Валентин Іванович – доктор технічних наук, директор Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія», м. Ізмаїл, Україна

Шибасв Олександр Григорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету

Щербина Ольга Васиївна – асистент кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету

Наукове видання

**ВІСНИК
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Збірник наукових праць

Випуск 1 (54)

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 26.03.2018.
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 14,5.
Замовлення № 30.

Надруковано у Видавництві ОНМУ
65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.
Тел. 728 31 14