

ВІСНИК



ОДЕСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

37

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ



**ВІСНИК
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Збірник наукових праць

ВИПУСК 1 (37)

Заснований у червні 1997 року

Одеса – 2013

ОДЕСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№ 1 (37)
2013

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 № 1 наукових фахових
видань України, в яких можуть публікуватися результати
дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів
доктора і кандидата наук
(Постанова ВАК № 1-05/1 від 26.01.11)

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

Редакційна колегія:

д-р економ. наук, проф. *І.В. Морозова* – відп. редактор
канд. техн. наук, доц. *С.М. Баскаков* – заст. відп. редактора
Г.І. Силакова – відповід. секретар

д-р техн. наук, проф.	<i>Вассерман О.А.</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Лапкіна І.О.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Гришин В.О.</i>	д-р фіз.-мат. наук, проф.	<i>Андронов І.Л.</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>Євдокімов В.Д.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Івановський В.Г.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Клованич С.Ф.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Козляков В.В.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Дубровський М.П.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Сизов В.Г.</i>
д-р економ. наук, проф.	<i>Махуренко Г.С.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Яровенко В.О.</i>

Рекомендовано до друку Вченою радою
Одеського національного морського університету
(протокол № 5 від 26 грудня 2012 р.)
та рішенням науково-технічної конференції «Експериментальні методи теорії корабля»,
присвяченої 80-річчю з дня заснування дослідного басейну ім. проф. О.О. Костюкова,
м. Одеса, ОНМУ

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.

ЗМІСТ

Морозова И.В., Баскаков С.Н. 80-летие опытового бассейна Одесского национального морского университета	3
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ТЕОРИИ КОРАБЛЯ И ГИДРОМЕХАНИКИ

Некрасов В.А., Дробот Д.А., Череватенко С.А., Ястреба А.П. Определение характеристик эскортных буксиров на основе данных модельных испытаний в опытовом бассейне национального университета кораблестроения	8
Клева Я.А., Бондаренко А.В., Некрасов В.А. Сравнительный анализ методов расчетов сопротивления лоцманских катеров с переходным режимом движения	18
Кочин В.А., Мороз В.В. Буксировочные исследования модели частично разгруженного с помощью воздушной подушки катамарана, который движется в канале в диапазоне критических скоростей	28
Белинский В.Г., Кочин В.А., Мороз В.В. Опыт исследования задач аэродинамики методами гидродинамического эксперимента	39
Баскаков С.Н., Егоров Г.В., Демидюк А.В., Нильва В.А. Буксировочные испытания модели танкера RST27 в условиях регулярного волнения	55
Буй Д.Т., Бондаренко А.В., Бойко А.П. Расчет буксировочного сопротивления катамаранов в задаче синтеза	64
Старостин С.Н. Методика расчета рабочего процесса в кавитационном сепараторе судовых льяльных вод	80
Гирин А.Г., Руденко С.В. Механизм дробления струи топлива в пневматической форсунке градиентной неустойчивостью течения в сопряженных погранслоях на ее поверхности	89

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОРАБЛЯ

Егоров Г.В., Егоров А.Г.

Исследование надежности и риска эксплуатации
отечественных речных пассажирских судов 98

Егоров Г.В., Автутов Н.В.

Сухогрузные суда «Волго-Дон МАКС» класса
с пониженным надводным габаритом 124

Кириллов Ю.И.

Обоснование оптимального распределения контейнеропотоков
между судами, обслуживающими магистрально-фидерные линии 152

Аврамов В.В.

Сравнительный анализ традиционных методов оценки
предельной прочности корпусов транспортных судов
с рекомендациями МАКО 2006 г. 175

Сёмин А.А.

Классификация способов оценки комфортабельности,
как составляющий элемент проектирования судов
и организации обслуживания пассажиров 180

Вычужанин В.В., Бойко В.Д.

Анализ методов оценки живучести судовых технических систем 188

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ

Ма Фен, Гловацкая С.Н., Руденко С.Н.

Модель процесса формирования и управления имиджем
учебного заведения 204

АВТОРИ

Аврамов Володимир Васильович – старший викладач кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

Автутов Микола Володимирович – директор з перспективного розвитку, головний конструктор Морського інженерного бюро, м. Одеса

Баскаков Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

Белінський Віссаріон Григорович – кандидат технічних наук, старший науковий співпрацівник інституту гідромеханіки НАН України

Бойко Віктор Дмитрович – старший викладач кафедри «Інформаційні технології» Одеського національного морського університету

Бойко Анжела Петрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної механіки корабля Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

Бондаренко Олексій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Залізобетонні та кам'яні конструкції» Одеської державної академії будівництва та архітектури

Буй Дуй Тхань – аспірант кафедри теорії та проектування корабля Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

Вичужанін Володимир Вікторович – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Інформаційні технології» Одеського національного морського університету

Грін Олександр Георгійович – кандидат фізико-математичних наук, доцент Одеського національного університету ім. Мечникова

Гловацька Світлана Миколаївна – начальник відділу міжнародних зв'язків Одеського національного морського університету

Дробот Дмитро Артурович – старший лаборант кафедри теорії та проектування корабля Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

Демідюк Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

Єгоров Геннадій В'ячеславович – доктор технічних наук, професор, генеральний директор Морського інженерного бюро, м. Одеса

Єгоров Олександр Геннадійович – мол. наук. співпрацівник Морського інженерного бюро, м. Одеса, здобувач кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

Кльова Яна Анатоліївна – асистент кафедри теорії та проектування корабля Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

Кочін Віктор Олександрович – кандидат технічних наук, старший науковий співпрацівник інституту гідромеханіки НАН України

Кириллов Юрій Іванович – капітан далекого плавання, аспірант кафедри «Морські перевезення», молодший науковий співробітник Науково-дослідного інституту фундаментальних та прикладних досліджень Одеського національного морського університету.

Ма Фен – аспірант Одеського національного морського університету

Мороз Володимир Васильович – доктор технічних наук, завідувачий науковим відділом інформаційних систем у гідромеханіці та екології інституту гідромеханіки НАН України

Морозова Ірина Володимирівна – доктор економічних наук, професор, ректор Одеського національного морського університету, завідувач кафедри «Експлуатація морських портів»

Некрасов Валерій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теорії та проектування корабля Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

Нільва Володимир Олександрович – магістр, мол. наук. співпрацівник Морського інженерного бюро, м. Одеса, здобувач кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

Руденко Сергій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, проректор з наукової роботи, директор Науково-дослідного інституту фундаментальних та прикладних досліджень Одеського національного морського університету

Сьомін Олексій Анатолійович – начальник департаменту суднобудування ООО «Лігір», м. Київ

Старостін Сергій Миколайович – аспірант кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

Череватенко Сергій Анатолійович – інженер фірми «Аюлекс», м. Миколаїв

Ястреба Олексій Петрович – асистент кафедри теорії та проектування корабля Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

И.В. Морозова, С.Н.Баскаков

**80-ЛЕТИЕ ОПЫТОВОГО БАСЕЙНА
ОДЕССКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО МОРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

*«Если тебе приходится иметь дело с водой,
то посоветуйся сначала с опытом, а потом с разумом»
Леонардо да Винчи*

В 1932¹ году был введен в эксплуатацию первый в Советском Союзе большой опытовый бассейн гравитационного типа (системы Веленкампа). Его проект был разработан молодым немецким инженером Германом Шлихтингом (1907-1982), впоследствии ученым мирового уровня, крупнейшим специалистом в области гидроаэродинамики, автором фундаментальной книги «Теория пограничного слоя» (1951).

Бассейн расположен в подвальном помещении «старого» корпуса университета. Структурно лаборатория является подразделением кафедры «Теория и проектирование корабля им. проф. Ю.Л. Воробьева». Общая площадь помещений составляет около 700 м². В состав лаборатории входят: помещение гидроканала, модельная мастерская, механическая мастерская, аппаратная, насосное отделение, кладовые и 2 учебные аудитории. Гидроканал выполнен в виде железобетонной конструкции, днищевая часть которой имеет параболическую форму:

- полная длина, включая доки – 35,5 м.
- ширина – 6,0 м.
- наибольшая глубина воды – 2,2 м.
- емкость бассейна – 400 м³.

В бассейне системы Веленкампа движение модели происходит под действием силы веса груза, падающего в шахту глубиной 20 м.

Дата ввода в эксплуатацию опытового бассейна Одесского национального морского университета² (ОНМУ), связана не только с созданием в 1930 году ОИИВТ, но и с принятием в СССР программ коммерческого и военного судостроения. До начала Великой отечественной войны в опытовом бассейне по заказам предприятий и проектных организаций было испытано более 200 моделей судов, проведены обширные экспериментальные исследования по определению сопротивления воды и отработке формы корпусов барж и судов прибрежного плавания, впервые в СССР определены гидродинамические характеристики гребных колес.

© Морозова И.В., Баскаков С.Н., 2013

¹ Ханович И.Г. Экспериментальные средства и методы теории корабля. Военно-морская академия кораблестроения и вооружения имени А.Н. Крылова. – Л., 1945. – 413 с.

² ранее – Одесский институт инженеров водного транспорта (ОИИВТ), Одесский институт инженеров морского флота (ОИИМФ), Одесский государственный морской университет (ОГМУ)



*Костюков
Александр Александрович
(1908-1976) – д.т.н., профессор*



*Павленко
Георгий Евстафьевич
(1898-1970) – д.т.н., профессор,
акад. АН УССР*



*Гулиев
Юсиф Мустафаевич
(1925-2003) –
к.т.н., профессор*



*Воробьев
Юрий Леонидович
(1937-2010) –
д.т.н., профессор, вице-президент
Транспортной академии Украины*

Наличие уникальной лабораторной базы во многом определило научные направления кафедры «Теория и проектирование корабля им. проф. Ю.Л. Воробьева» ОНМУ. Условно можно выделить три основных периода в развитии научных исследований на кафедре. Первый период (1930-1960 г.г.) связан в основном с именами академика Г.Е. Павленко и д.т.н. профессора А.А. Костюкова. В это время в опытовом бассейне развивались теоретические исследования сопротивления воды движению судна (Г.Е. Павленко), а также теория корабельных волн и волнового сопротивления (А.А. Костюков). Фундаментальная монография профессора А.А. Костюкова «Теория корабельных волн и волнового сопротивления» была удостоена престижной премии имени А.Н. Крылова научно-технического общества инженеров-кораблестроителей им. академика А.Н. Крылова. В 1980 г. опытному бассейну присвоено имя профессора А.А. Костюкова.

Следующий период (1960-1980 гг.) характеризуется усилением интереса к модельным испытаниям в опытовом бассейне, переходом от одиночных к серийным испытаниям мореходности судов на волнении. Резко расширяется номенклатура испытаний, экспериментальная база модернизируется так, что становится возможным обеспечить выполнение модельных испытаний и обработку их результатов в полуавтоматическом режиме. В экспериментальный комплекс включаются аналоговая и цифровая вычислительная техника. Создаются новые экспериментальные установки, например, первая в СССР установка для определения обобщенных присоединенных масс и демпфирования методом вынужденных колебаний. Значительная часть этих работ выполнялась под научным руководством профессора Ю.М. Гулиева. Огромный вклад в техническое перевооружение экспериментальной базы внес старший научный сотрудник В.Н. Кириллов. Уместно отметить, что в 1971-1976 годах Ю.М. Гулиев был экспертом ООН и руководителем Проекта Межправительственной морской консультативной организации (ИМКО, ныне ИМО) по созданию научно-экспериментального центра гидромеханики судов в г. Варне (Болгария).

Третий период (1980-2010) связан с именем профессора Ю.Л. Воробьева. В эти годы в опытовом бассейне были выполнены систематические серийные испытания моделей судов по определению ходовой посадки и перемещений оконечностей судов при качке на мелководье и в подходных каналах, гидродинамического взаимодействия и кинематики судов-партнеров при встречном движении. Экспериментальные исследования были поддержаны глубокими теоретическими разработками, в основу которых была положена новая версия метода сращиваемых асимптотических разложений (САР), специально разработанная профессором Ю.Л. Воробьевым для решения краевых задач судовой гидродинамики. Применение метода САР оказалось весьма плодотворным, с его помощью было решено большое число гидродинамических задач. Многие из них представлены в успешно защищенных кандидатских диссертациях. Полу-

ченные теоретические и экспериментальные данные легли в основу серии нормативных и инструктивных документов по проектированию, строительству и технической эксплуатации подходных каналов и акваторий морских портов. Научные и практические результаты исследования динамики судов в стесненных условиях представлены в систематизированном виде в монографии Ю.Л. Воробьева «Гидродинамика судна в стесненном фарватере». – Л.: Судостроение, 1992 г. В 1994 году эта книга была удостоена премии имени А.Н. Крылова научно-технического общества инженеров-кораблестроителей имени академика А.Н. Крылова. В октябре 2011 г. за выдающиеся заслуги в деле становления университета, кораблестроительного факультета и кафедры, по инициативе трудового коллектива, кафедре «Теория и проектирование корабля» ОНМУ было присвоено имя профессора Ю.Л.Воробьева.

Естественен вопрос, а не устарел ли бассейн ОНМУ. Простота и вместе с тем совершенство всех устройств является его отличительной особенностью, что выгодно отличает его от сложных бассейнов динамометрического типа. Относительная дешевизна и доступность для заказчиков испытаний в современных условиях имеют особую значимость. В настоящее время ведется новая модернизация экспериментальной базы опытового бассейна – идет его переоснащение самой современной измерительной аппаратурой.

Качество результатов, получаемых с помощью новой измерительной системы, проиллюстрировано на рисунке. Здесь приведены результаты испытания модели судна проекта MPSV07 с данными, полученными в признанной гидродинамической лаборатории – опытовом бассейне ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова.

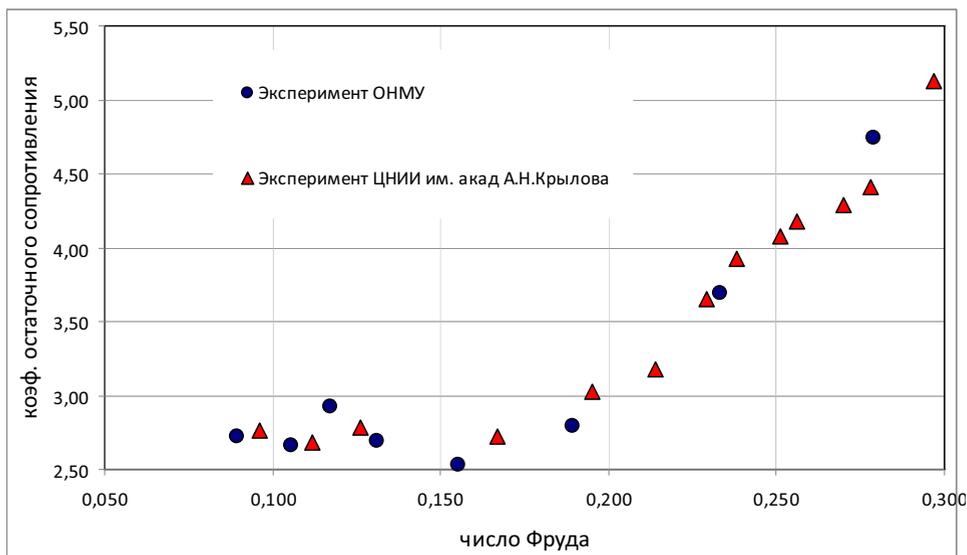


Рис. Результаты испытания модели судна проекта MPSV07

При проектуванні Морським інженерним бюро танкера нового покоління пр. RST27 використовувались результати модельних испытаний, виконані в опытовому басейні ОНМУ. Ходові испытання головного судна підтвердили їх достовірність. В настоящее время идет строительство серии из 28 судов этого типа.

Необходимо отметить роль опытового басейна ОНМУ в деле обеспечения современного уровня подготовки морских инженерных кадров.

УДК 629.5.012

В.А. Некрасов, Д.А. Дробот, С.А. Череватенко, А.П. Ястреба

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭСКОРТНЫХ БУКСИРОВ
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ОПЫТОВОМ БАССЕЙНЕ
НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ**

Представлено склад експериментального устаткування, метод дослідження і обробки експериментальних даних, методика перерахунку на натуру і результати перерахунку на натуру позиційних характеристик сил і моментів, що діють на ескортний буксир під час виконання стаціонарних ескортних операцій.

Ключові слова: дослідний басейн, устаткування, метод дослідження, метод обробки даних, методика перерахунку;

Представлен состав экспериментального оборудования, метод исследования и обработки экспериментальных данных, методика пересчета на натуру и результаты пересчета на натуру позиционных характеристик сил и моментов, действующих на эскортный буксир во время выполнения стационарных эскортных операций.

Ключевые слова: опытовый бассейн, оборудование, метод исследования, метод обработки данных, методика пересчета;

Composition of experimental equipment, method of research and processing of experimental data, method of recount on nature and results of recount on nature of position descriptions of forces and moments, operating on an escort tug during implementation of stationary escort operations is presented.

Keywords: towing tank, equipment, research method, method of data processing of, method of recount.

Введение. Развитие морских нефтяных терминалов на Черном море обуславливает необходимость эскортного сопровождения танкеров при их подходе к берегу, при движении в узкостях, где ветро-волновые возмущения и течения создают значительные дополнительные усилия, но из-за малой скорости движения снижается эффективность работы рулевых устройств.

Осуществляется такое сопровождение в обязательном порядке с помощью эскортных буксиров, которые проходят аттестацию классификационных обществ по определению развиваемого управляющего воздействия на эскортируемое судно. Соотношение между величинами управляющего воздействия и водоизмещения эскортируемого судна обуславливают уровень надежности эскортной операции, заметно снижает вероятность появления экологических катастроф.

Этим обуславливается большой интерес, проявляемый проектан-тами судов и судовладельцами к определению усилий, создаваемых эскортными буксирами при сопровождении судов, и назначению соответствующего класса конкретному проекту эскортного буксира.

В соответствии с требованиями классификационных обществ [1, 2] для присвоения буксиру эскортного класса необходимо осуществить обоснованный предварительный расчет максимальной удерживающей силы буксира при скорости эскортирования 8 и/или 10 узл., включая расчет пропульсивной мощности, необходимой для обеспечения и поддержания этого усилия.

Обоснование такого расчета и присвоение буксиру соответствующего эскортного класса осуществляется сначала с помощью экспериментальных, а затем и – натуральных исследований.

Однако в Украине, до появления соответствующих работ в Национальном университете кораблестроения, для выполнения соответствующих экспериментальных исследований и пересчета данных эксперимента на натуре не существовало необходимого оборудования и процедур.

Постановка задачи. В связи с этим целями работы являлись:

– разработка метода экспериментального определения действующих на эскортный буксир сил при выполнении стационарных эскортных операций;

– создание специального оборудования для опытового бассейна;

– организация экспериментальных исследований проектных характеристик эскортных буксиров;

– сравнение получаемых в результате эксперимента данных с данными натуральных испытаний эскортных буксиров.

1. Требуемая схема эскортных операций. В основу определения необходимых характеристик эскортных операций буксира полагается схема эскортного сопровождения, приведенная в требованиях классификационных обществ [1, 2], и системы координат, принятые в теории управляемости судов [3] (см. рис. 1). При этом начало координат системы, жестко связанной с буксиром, расположено в плоскости ватерлинии на пересечении ДП и ПМШ.

На рис. 1 обозначены: R_b – усилие в буксирном канате; x_b – расстояние до носового буксирного рыма; α – угол буксирного каната; β – угол дрейфа эскортного буксира; δ – угол упора винторулевых колонок; X_c – продольная гидродинамическая сила, действующая на корпус эскортного буксира; Y_c – поперечная гидродинамическая сила; M_c – гидродинамический момент. $X_{врк}$ – продольная составляющая полезной тяги двух винторулевых колонок, действующей на корпус буксира при его движении со скоростью V_s и создаваемом при этом движении углом набегающего потока на ВРК, равном $(\beta - \delta)$; $Y_{врк}$ – боковая составляющая полезной тяги двух винторулевых колонок, действующей на корпус буксира при его движении со скоростью V_s и создаваемом при этом движении уг-

лом набегающего потока на ВРК, равном $(\beta - \delta)$; $x_{врк}$ – расстояние до вертикальных осей винторулевых колонок.

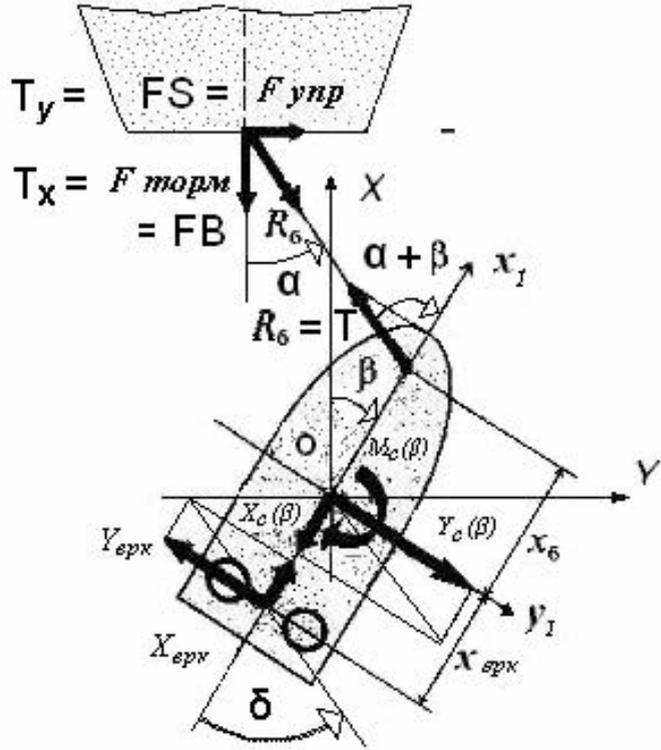


Рис. 1. Схема сопровождения судна эскортным буксиром

2. Определение действующих сил и моментов. Равновесие сил, действующих на буксир, достигается в режимах его установившегося движения. Проектные характеристики установившегося режима движения эскортного буксира и сопровождаемого судна определяются на основе решения следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} R_{\delta} \cos(\beta + \alpha) + X_c(\beta) + X_{врк}(\beta - \delta) &= 0; \\ -R_{\delta} \sin(\beta + \alpha) + Y_c(\beta) + Y_{врк}(\beta - \delta) &= 0; \\ -R_{\delta} \sin(\beta + \alpha) x_{\delta} + M_c(\beta) + Y_{врк}(\beta - \delta) x_{врк} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

В результате определяются следующие искомые характеристики, требующие экспериментального подтверждения:

$$\begin{aligned} T &= R_{\delta} - \text{усилие в буксирном тросе}; \\ T_Y &= FS = R_{\delta} \sin \alpha - \text{управляющая сила}; \\ T_X &= FB = R_{\delta} \cos \alpha - \text{тормозное усилие}. \end{aligned} \quad (2)$$

Кренящий момент, вызывающий наклонение буксира под действием рассматриваемой совокупности сил, вычисляется по формуле

$$M_H = R_{\sigma} \sin(\beta + \alpha) z_{\sigma} - Y_c(\beta) z_{k+c} + Y_{врк}(\beta - \delta) z_{врк}, \quad (3)$$

где z_{σ} – аппликата точки приложения усилия буксирного каната на носовом буксирном рыме;

z_{k+c} – аппликата точки приложения боковой силы на корпусе и скеге;

$z_{врк}$ – аппликата точки приложения упора ВРК.

Необходимое для проверки устойчивости буксира плечо кренящего момента вычисляется с помощью отношения

$$l_H = M_H / D, \quad (4)$$

где – D водоизмещение буксира.

Таким образом, основным набором сил и моментов, требующих экспериментального определения, являются силы X_c, Y_c и момент M_c .

3. Модернизация опытового бассейна Национального университета кораблестроения произведена в 2005-2008 годах на основе разработанного авторами проекта, личного их участия в работах по модернизации и с помощью поставок оборудования и микропроцессорной техники фирмами Шнайдер Электрик (Франция) и ЮАлекс (Украина).



Рис.2. Опытный бассейн НУК

Опытный бассейн НУК имеет следующие характеристики: длина 33,0 м; ширина 2,5 м; глубина 1,1 м; максимальная скорость буксировки моделей 6,0 м/с. Бассейн оборудован несамходной буксировочной тележкой и современными компьютеризированными системами: буксировочной системой; системой измерения, накопления и обработки данных; автоматизированной системой управления экспериментом.

Основу буксировочной системы опытового бассейна составляют асинхронный электродвигатель мощностью 7 кВт с номинальным числом оборотов 2880 об/мин. и преобразователь частоты аналогичной мощности, питающиеся от 3-х фазной сети переменного тока напряжением 380V. Встроенный в преобразователь частоты микропроцессор и инкрементальный датчик числа оборотов электродвигателя позволяют выдерживать задаваемую в диапазоне 0,00-6,00 м/с скорость движения моделей с погрешностью до 0,5 % (максимум ± 30 мм/с).



Рис. 3. Оборудование опытового бассейна НУК

В трехкомпонентном динамометре действующих на модель сил (продольной X_c и боковой Y_c – силы дрейфа, изменяющихся в пределах 0,0-50,0 Н), а также их момента M_c , используются тензометрические датчики, которые позволяют определить действующие усилия с погрешностью $\pm 0,02$ Н (максимум ± 2 грамм силы). Компенсационная система исключения взаимного влияния тензометрических датчиков усилий ортогональных направлений, существенно увеличивающая точность силовых измерений, реализована в виде программного модуля. Свободные вертикальные перемещения модели в пределах ± 50 мм регистрируются с по-

мощью индуктивного датчика перемещений, погрешность которого составляет $\pm 0,1$ мм. Угловые перемещения модели в диапазоне ± 15 градусов определяются акселерометрическим датчиком с погрешностью $\pm 0,02$ градуса.

Расположенный на буксировочной тележке промышленный компьютер обрабатывает информацию, поступающую от датчиков перемещений модели и действующих сил, накапливает ее и в конце цикла буксировки передает эту информацию на стационарный компьютер Pentium4. Стационарный компьютер с помощью разработанной С.А. Череватенко программы TowingTestsLAB управляет экспериментом как при одиночных пробегах буксировочной тележки, так и при автоматизированных режимах, в процессе каждого из которых совершается необходимый цикл буксировочных испытаний модели.

Все оборудование и приборы опытового бассейна регулярно проходят метрологическую аттестацию.

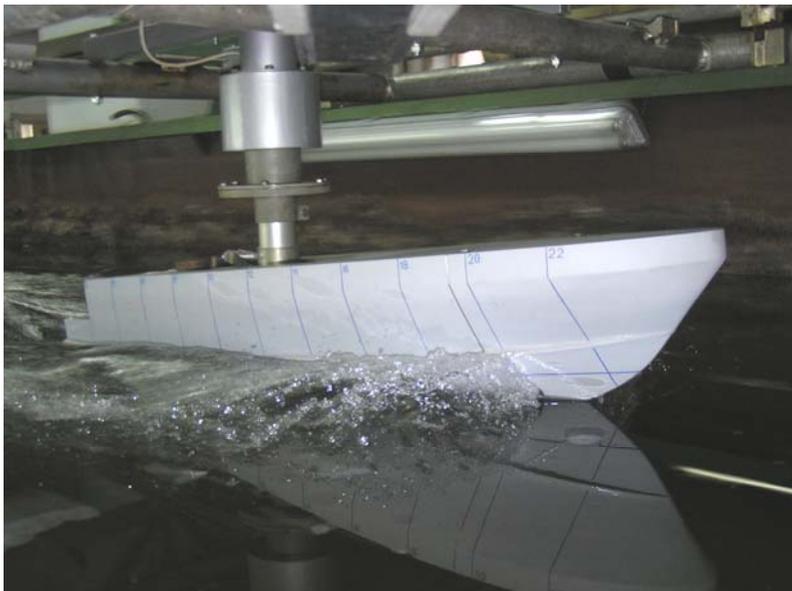


Рис. 4. Испытания модели судна в опытовом бассейне НУК

4. Экспериментальное определение действующих сил. Для проверки выполнения требований классификационных обществ к эскортным буксирам при осуществлении ими эскортных операций с нормативными скоростями хода 8 и 10 узлов в опытовом бассейне НУК по заказам конструкторских бюро Украины проводятся соответствующие буксировки моделей с углами дрейфа, принимающими значения в диапазоне 0-90 градусов. Фото одной из таких буксировок модели эскортного буксира с максимальным тяговым усилием натуре на переднем ходу равным 60 тонн представлено на рис. 5.



Рис. 5. Движение модели эскортного буксира с углом дрейфа, скорость 0,9 м/с

Крепление модели к буксировочной тележке выполняется таким образом, чтобы модель могла свободно удифферентовываться, но перемещения ее по углу крена были бы ограниченными в соответствии с требованиями классификационных обществ 10-ю градусами.

Модель буксира в процессе эксперимента рассматривается как крыло малого удлинения, вертикально опущенное в воду под углом атаки (дрейфа) β по отношению к направлению движения буксировочной тележки. При этом измеряются сила лобового сопротивления X_{cm} , подъемная сила «крыла» Y_{cm} , соответствующие силе удержания буксира на курсе FS и стопорящей движение силе FB, а также момент M_{cm} , соответствующий моменту M_c .

Целью эксперимента является определение коэффициентов лобового сопротивления $C_{X_M} = C_{FB_M}$, подъемной силы $C_{Y_M} = C_{FS_M}$ и момента C_{M_M} , которое осуществляется по формулам

$$\begin{aligned}C_{FB_M} &= 2 FB_M / (\rho_M V_M^2 S_{bM}); \\ C_{FS_M} &= 2 FS_M / (\rho_M V_M^2 S_{bM}); \\ C_{M_M} &= 2 M_M / (\rho_M V_M^2 S_{bM} L_M),\end{aligned}$$

где S_{bM} – площадь диаметрального батокса модели при осадке T_M и длине L_M ;

ρ_M – плотность жидкости;

V_M – скорость модели.

Пример обработанных данных экспериментальных исследований приведен на рис. 6.

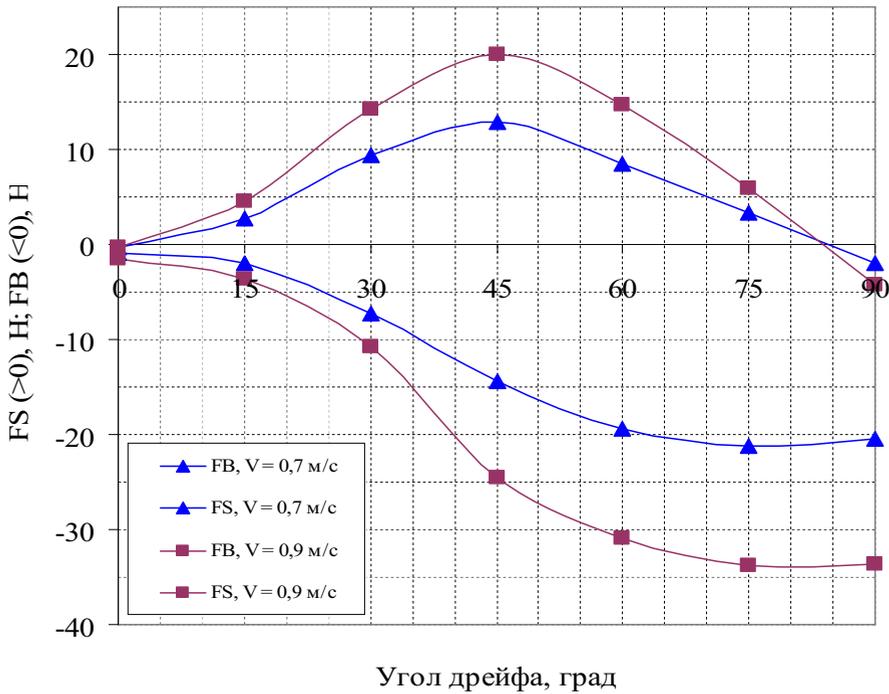


Рис. 6. Стопорящая (вдоль линии движения) и удерживающая на курсе (перпендикулярно линии движения) силы (Braking pull = FB_M и Steering pull = FS_M), действующие на модель эскортного буксира

5. Пересчет результатов эксперимента на натуре. Пересчет экспериментальных данных на натуре осуществляется по формулам

$$\begin{aligned}
 FB_H &= C_{FBM} (\rho_H V_H^2 S_{bH})/2; \\
 FS_H &= C_{FSM} (\rho_H V_H^2 S_{bH})/2; \\
 M_H &= C_{MM} (\rho_H V_H^2 S_{bH} L_H)/2,
 \end{aligned}$$

где S_{bH} – площадь диаметрального батокса натуре при осадке T_H и длине L_H ;

ρ_H – плотность жидкости;
 V_H – скорость натуре.

6. Сравнение данных пересчета результатов модельных испытаний на натуре с данными натуральных испытаний. Тот же эскортный буксир, данные модельных испытаний которого и их пересчета на натуре по приведенным формулам представлены на рисунках 5 и 6, прошел натурные испытания. Определяющие результаты натуральных испытаний приведены в таблице.

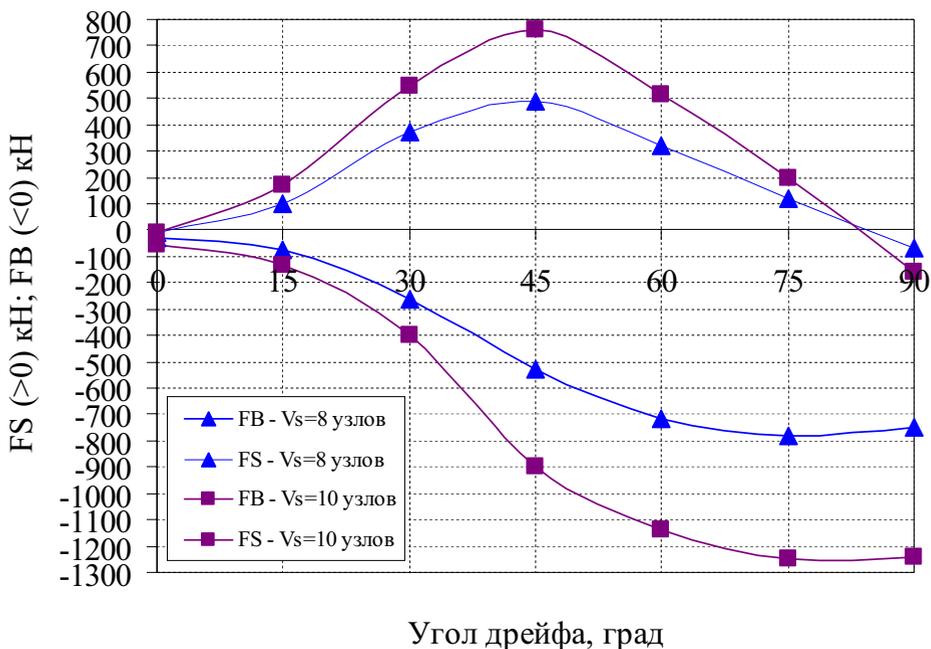


Рис. 7. Результаты пересчета сил на натуру

Таблица

Скорость	узлы	8	10
Максимальная управляющая сила FS (пересчет на натуру)	кН	490	740
Максимальная управляющая сила FS (натурные испытания)	кН	630	770

Обнаруживаемые расхождения при сравнении данных пересчета модельных испытаний на натуру с данными натурных испытаний, по-видимому, объясняются влиянием винто-рулевых колонок, которые отсутствовали при проведении модельных испытаний. При этом вероятной причиной расхождения результатов может быть изменение условий обтекания скегов модели и натуре потоком жидкости в отсутствии и при наличии винто-рулевых колонок. В условиях относительно малых скоростей хода с углом дрейфа одна из колонок может индуцировать повышенные скорости потока за скегом.

Выводы. Созданное оборудование для проведения модельных испытаний эскортных буксиров, способ определения действующих на модели сил и методика пересчета результатов модельных испытаний на натуре позволяют получить приемлемые результаты для предварительной оценки сил, действующих на буксир при проведении эскортных операций, которая инициируется требованиями классификационных обществ к процессу их аттестации.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Bureau Veritas, Rules for the Classification of Steel Ships, Chapter 14, Tugs.* – P.57-69.
2. *Технические требования к эскортным буксирам.* – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2008. – 11 с.
3. *Справочник по теории корабля: В 3-х т. – Т.3. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания / Под ред. Я.И. Войткунского.* – Л.: Судостроение, 1985. – 544 с.

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

УДК 629.5.015.2

Я.А. Клева, А.В. Бондаренко, В.А. Некрасов

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ
ЛОЦМАНСКИХ КАТЕРОВ С ПЕРЕХОДНЫМ РЕЖИМОМ ДВИЖЕНИЯ**

Выполнено сравнение приближенных методов расчета сопротивления лоцманских катеров с результатами модельного эксперимента. Рекомендован метод прогнозирования сопротивления лоцманских катеров для математической модели.

Ключевые слова: *переходный режим движения, лоцманский катер, опытовый бассейн, сопротивление, модельные испытания.*

Виконано порівняння наближених методів розрахунку опору лоцманських катерів з результатами модельного експерименту. Рекомендовано метод для прогнозування опору лоцманських катерів для математичної моделі.

Ключові слова: *перехідний режим руху, лоцманський катер, дослідний басейн, опір, модельний експеримент.*

Comparing of approximative methods of calculation of resistance of pilot boats is executed to the results of model experiment. Authors recommends the method for prediction of hull resistance for pilot boats for mathematical model.

Keywords: *semi-planing, pilot boat, towing tank, resistance, model tests.*

Введение. Анализируя состояние лоцманского флота Украины, следует отметить, что в ГП "Дельта-лоцман" насчитывается 21 единица лоцманских и промерочных катеров, буксир ледового класса [1]. Из 20 катеров только 6 введены в эксплуатацию после 2001 года, остальные служат около 20 лет. Поэтому в настоящее время приоритетной задачей является модернизация работающих и строительство новых специализированных лоцманских катеров (ЛК), отвечающих современным международным стандартам. Пополнение флота происходит как за счет разработки и постройки катеров отечественного производства, так и за счет приобретения за рубежом.

Одной из сложных задач, которую приходится решать в проектно-бюро, является расчет сопротивления и мощности судна. Характерной особенностью развития современного лоцманского флота является рост скорости ЛК, который возможен благодаря улучшению их пропульсивных качеств за счет уменьшения сопротивления воды движению и увеличения эффективности судовых движителей. Поэтому проблема точного прогнозирования величины сопротивления является достаточно актуальной.

Проведенный обзор существующих методов оценки мощности и сопротивления судна позволяет сделать вывод о большом разнообразии расчетных схем [2, 3]. Их целесообразно сгруппировать по следующим категориям: теоретические, экспериментальные, эмпирические и статистические. Каждая из этих категорий характеризуется требуемым объемом исходной информации и применяется на различных этапах проектирования.

Теоретические методы являются наиболее трудоемкими, требуют тщательного составления математических уравнений, описывающих расчет сопротивления, решение их с помощью компьютерных программ и последующую верификацию результатов. Эмпирические – в основном содержат одно или более сравнительно простых уравнений, определяющих мощность в функции от водоизмещения, длины и скорости без расчета сопротивления корпуса.

В основе экспериментальных методов лежат испытания модели или серии моделей корпуса судна в опытовом бассейне. Они применяются на стадии технического проектирования, поскольку модельный эксперимент довольно дорогостоящая процедура.

При концептуальном проектировании широко используются статистические методы. Эти методы предполагают создание математической модели с помощью регрессионного анализа данных и требуют наличия большой базы данных, основным источником которых являются: результаты испытаний систематических серий; информация о модельных экспериментах в опытовых бассейнах и сведения по эксплуатируемым судам в реальных условиях.

Несмотря на многообразие и отлаженность методик, принятие решения о рекомендации того или иного метода для решения задачи выбора оптимальных характеристик ЛК на начальных стадиях проектирования требует сравнения результатов теоретического расчета с данными модельных испытаний.

Постановка задачи – сравнительный анализ приближенных методов расчета сопротивления для лоцманских катеров с данными модельного эксперимента.

Изложение основного материала. При выборе адекватного и достоверного метода с целью использования в математической модели, авторами выполнено сравнение значений сопротивления, полученных в ходе модельных испытаний в опытовом бассейне Национального университета кораблестроения, с результатами расчета различными приближенными методами.

Для проведения эксперимента был изготовлен прочный корпус модели катера из мелкозернистого пенопласта. При этом наружная поверхность корпуса модели сформирована на станке с числовым программным управлением по 3D-теоретическому чертежу (теоретическая поверхность) с погрешностью $\pm 0,1$ мм. Перед покраской поверхность корпуса была зашпаклевана слоем 0,2 мм и отполирована. Покраска про-

изведена в два слоя эмалью НЦ-25, что обеспечило гидродинамически гладкую наружную поверхность буксируемой модели.

Масштаб модели лоцманского катера 1:15 (смоченная длина $\sim 0,9$ м; смоченная ширина $\sim 0,27$ м); выбран из условия движения модели с такой расчетной скоростью $V_m = 2,5$ м/с (расчетная скорость природы $V_n \sim 19$ узл.), которая обеспечивает обтекание корпуса модели турбулентным пограничным слоем (число Рейнольдса в диапазоне исследуемых скоростей хода модели значительно превосходит критическое число, равное $1,0 \times 10^6$), и условия близости ширины модели к минимально необходимому значению 0,3 м, которое, в свою очередь, обеспечивает качественный пересчет на натуру результатов испытаний модели глиссирующего судна. Кроме того, при выбранном масштабе модели практически исключается влияние боковых стенок опытового бассейна и его дна на результаты эксперимента.

Для регистрации формы смоченной поверхности на модели была выполнена разметка сетки теоретических шпангоутов и ватерлиний (рис. 1). Основная ватерлиния, соответствующая полному водоизмещению, отмечена при осадке 37,8 мм от основной плоскости. Ватерлиния, соответствующая случаю нагрузки катера при водоизмещении $19,4 \text{ м}^3$, обозначена вспомогательными метками в носу, корме и средней части модели.

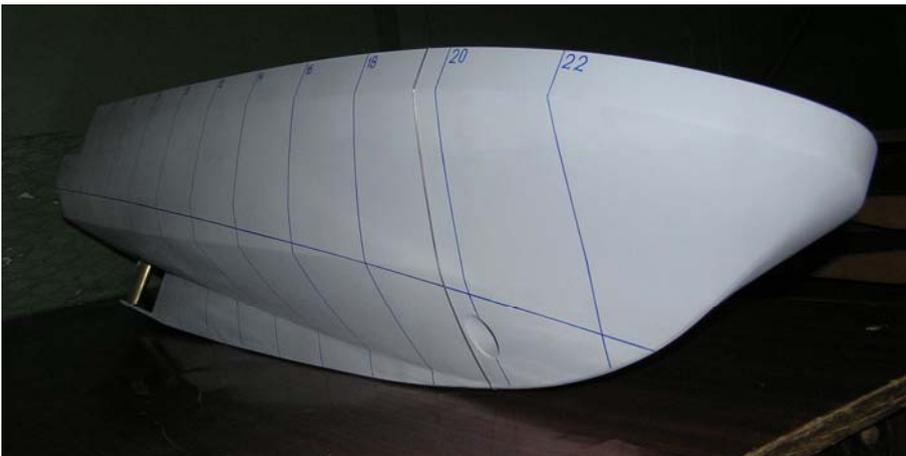


Рис.1. Корпус модели лоцманского катера пр. ЛК-1500, вид с носа

Для выбранного масштаба модели основные исходные данные по состоянию ее нагрузки масс и посадки на тихой воде приведены в табл. 1.

Таблиця 1

Исходные данные испытаний модели катера на тихой воде

Наименование натуры	Лоцманский катер	
Длина модели по КВЛ, м	0,905	
Состояния нагрузки	Нормальное	Полное
Водоизмещение модели, м ³	0,005748	0,007407
T носом, мм	50,7	58,7
ψ_0 , ° (дифферент, мм)	0,00 (+0,0)	0,00 (+0,0)

Во время экспериментальных исследований ось державки модели, обеспечивающая ее свободный дифферент и всплытие, была закреплена на уровне центра величины для водоизмещения в полном грузу ($X_{AB} = -90,0$ мм; $Z_{AB} = 35,1$ мм) при посадке катера прямо и на ровный киль.

Для водоизмещений натуры 19,4 м³ и 25,0 м³ в процессе буксировочных испытаний модели на тихой воде произведены замеры ее буксировочного сопротивления и параметров динамической посадки.

Для рассмотренных значений водоизмещения с помощью визуального наблюдения динамической посадки модели и создаваемого ею волнообразования при режимах движения с расчетными скоростями установлено наличие значительного дифферента на корму (порядка 5 град). Вследствие этого смоченная длина и площадь смоченной поверхности корпуса претерпевали заметное изменение в зависимости от скорости движения модели. Определение изменений этих величин осуществлено с помощью фотографий боковых видов движущейся модели.

Для водоизмещения натуры 25,0 м³ дополнительно исследовано влияние начального дифферента на характеристики сопротивления движению и динамической посадки. Так как при движении модели с нулевым начальным дифферентом имел место существенный ходовой дифферент на корму, увеличивающий сопротивление, исследование влияния начального дифферента осуществлено при значениях угла дифферента +1 и +2 градуса на нос.

Для водоизмещения натуры 25,0 м³ при нулевом начальном дифференте рассмотрено влияние постановки кормового интерцептора. Высота рабочей части интерцептора принималась равной 1, 2, 2,5 и 3 мм. Наибольшее влияние интерцептора на снижение сопротивления движению модели достигнуто при высоте интерцептора 2,5 мм.

Некоторые из результатов эксперимента в виде зависимостей замеренных величин от скорости хода приведены в табл. 2.

Таблиця 2

Сопrotивление движению модели лоцманского катера

Номер буксировки	Измеренные и расчетные значения			
	V_m , м/с	сила сопротивления R_{2xm} , гс	воздушное сопротивление тележки, R_T , гс	сопротивление модели R_{2xm} без интерцептора, H
1	0,75	94	0	0,921
2	1,00	214	0	2,097
3	1,25	386	0	3,783
4	1,50	784	0	7,683
5	1,75	987	0	9,673
6	2,00	1086	0	10,643
7	2,25	1161	0	11,378
8	2,50	1239	0	12,142
9	2,75	1348		13,210

На основе результатов модельных испытаний произведен пересчет на натуру буксировочного сопротивления и буксировочной мощности ЛК (табл. 3):

– без учета всплытия судна при постоянном водоизмещении и L_{WL} – кривая 1 (рис. 2, а);

– с учетом всплытия судна при меняющейся L_{WL} и соответственно площади смоченной поверхности S при увеличении скорости – кривая 2 (рис. 2, а).

Дальнейшим этапом работы авторов было выполнение расчетов сопротивления приближенными способами. С учетом выбранного типа судна и его режима движения рассматривались следующие методы: Holtrop – Mennen [4], Compton [5], Fung [6], Savitsky [7], Mercier – Savitsky [7], Lahtiharju [8].

Результаты сравнительного анализа расчета сопротивления различными методами представлены на рис. 2.

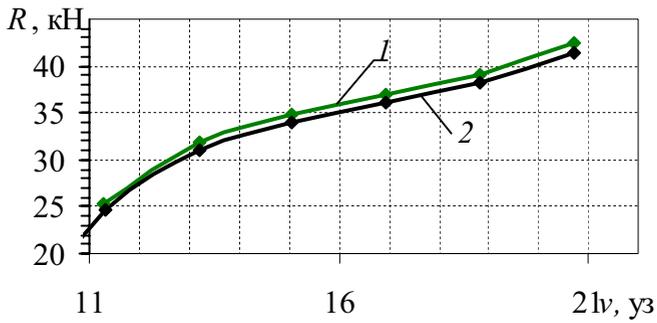
Как следует из рис. 2, е кривая 8, соответствующая методу Lahtiharju, дает необходимую точность и поэтому данный метод может быть рекомендован в качестве расчетного для математической модели.

Также следует отметить, что результаты данного эксперимента были использованы при разработке проекта лоцманского катера и его строительстве на одном из судостроительных заводом Украины. Головное судно представлено на рис. 3.

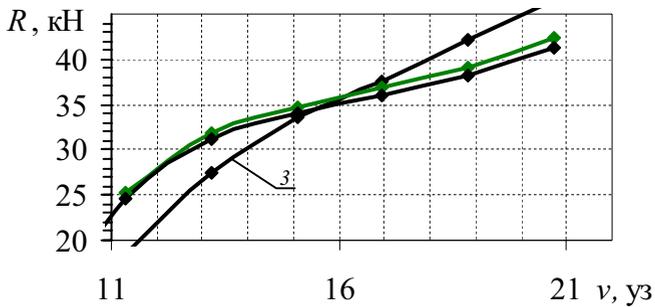
Таблиця 3

Результаты пересчета с модели на натурное судно
($V = 25,0 \text{ м}^3$, $\psi_0 = 0 \text{ град}$)

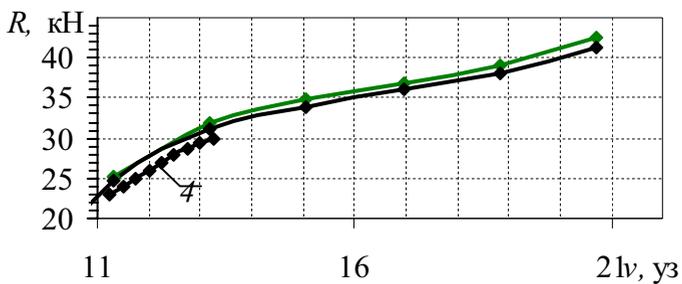
Наименование	Значение					
$V_M, \text{ м/с}$	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75
$R_M, \text{ Н}$	7,683	9,673	10,643	11,378	12,142	13,210
$S_M, \text{ м}^2$	0,2360	0,2333	0,2324	0,2320	0,2316	0,2311
$C_M = \frac{2R_M}{\rho V_M^2 S_M} \times 10^3$	28,94	27,07	22,89	19,37	16,78	15,12
$L_{cpM}, \text{ м}$	0,57	0,58	0,60	0,62	0,65	0,68
$R_{eM} = \frac{V_M L_{cpM}}{\nu_M} \times 10^{-6}$	0,80	0,94	1,12	1,31	1,52	1,76
$C_{f0M} = f(R_{eM}) \times 10^3$	4,66	4,52	4,38	4,25	4,14	4,03
$C_{RM} = (C_M - C_{f0M}) \times 10^3$	24,28	22,55	18,52	15,12	12,64	11,08
$L_{cpH} = k \times L_{cpM}, \text{ м}$	8,57	8,66	9,00	9,33	9,74	10,26
$V_H = V_M \sqrt{k}, \text{ м/с}$	5,81	6,78	7,75	8,71	9,68	10,65
$R_{eH} = \frac{V_H L_{cpH}}{\nu_H} \times 10^{-6}$	31,12	36,68	43,57	50,81	58,94	68,30
$C_{f0H} = f(R_{eH}) \times 10^3$	2,52	2,46	2,40	2,34	2,29	2,25
$\Delta C = (\Delta C_{кор} + \Delta C_{вч} + \Delta C_{возд}) \times 10^3$	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
$C_H = (C_{RM} + C_{f0H} + \Delta C) \times 10^3$	27,50	25,71	21,61	18,16	15,63	14,03
$S_H = k^2 \times S_M, \text{ м}^2$	53,10	52,50	52,30	52,20	52,10	52,00
$R_H = C_H S_H \frac{\rho V_H^2}{2}, \text{ кН}$	25,26	31,78	34,76	36,90	39,13	42,42
$10 \times R_H, \text{ кН}$	252,55	317,80	347,61	369,02	391,35	424,17
$P_e = R_H \times V_H, \text{ кВт}$	146,72	215,40	269,25	321,57	378,92	451,77
$V_H, \text{ узлы}$	11,30	13,19	15,07	16,95	18,84	20,72



а)

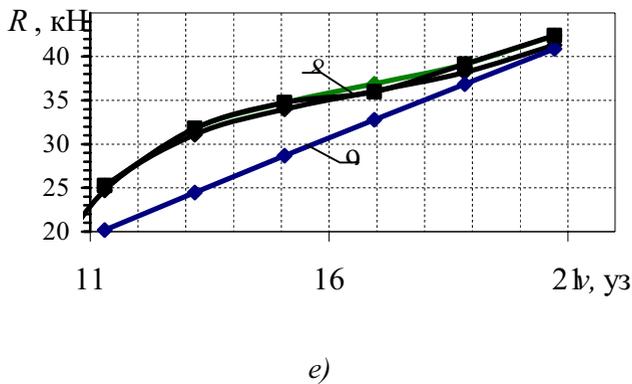
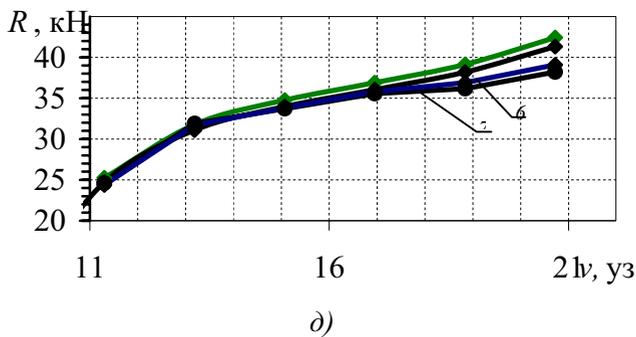
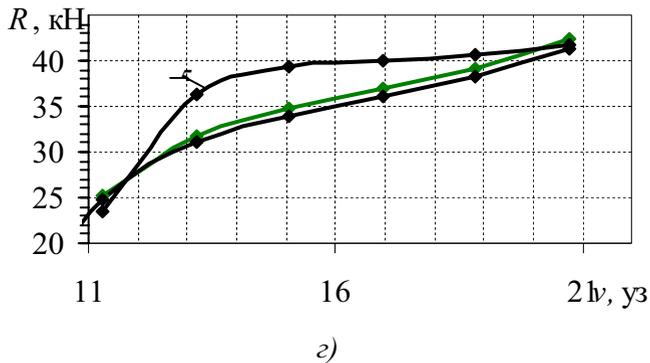


б)



в)

Рис. 2. Зависимость сопротивления ЛК1500 от скорости:
а – результаты модельных испытаний; б – результаты модельных испытаний и результаты расчета по методу Holtrop (кривая 3);
в – результаты модельных испытаний и результаты расчета по методу Compton; (кривая 4)



Продолжение рис.2:

г – результаты модельных испытаний и результаты расчета по методу Fung; (кривая 5); д – результаты модельных испытаний и результаты расчета по методу Savitsky для судов в переходном режиме (кривая 6); и результаты расчета по методу Mercier – Savitsky для круглоскулых обводов (кривая 7); е – результаты расчета по методу Lahtihaari для круглоскулых обводов (кривая 8); и результаты расчета по методу Lahtihaari для остроскулых обводов (кривая 9)



Рис. 3. Лоцманский катер «Лощман Роцин»

Выводы. В результате анализа статистических данных по 100 современным лоцманским катерам был сделан вывод о том, что большинство современных лоцманских катеров работают в переходном режиме движения. Сравнение значений сопротивлений, рассчитанных по методикам Holtrop, Compton, Fung, Savitsky, Lahtiharju и Mersier – Savitsky с данными модельных испытаний лоцманского катера позволяет сделать вывод, что наиболее приемлемым для использования в математической модели являются метод Lahtiharju.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. http://www.delta-pilot.ua/uk/specialized_fleet
2. Егоров И.Т. Ходкость и мореходность глиссирующих судов / И.Т. Егоров, М.М. Буньков, Ю.М. Садовников. – Л.: Судостроение, 1978. – 331 с.
3. Справочник по теории корабля. – В 3-х т. – Т.3. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания / Под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 544 с.
4. Holtrop, J. An Approximate Power Prediction Method / J. Holtrop, G.G. Mennen // International Shipbuilding Progress. – 1982. – July. – Vol. 29. № 335. – P. 166-170.

5. *Compton, R. H. Resistance of Systematic Series of Semiplanning Transom – Stern Hulls / R.H. Compton // Marine Technology. – 1986. – October. – Vol. 23. – № 4. – P. 345-370.*
6. *Fung, S. Resistance and Powering for Transom Stern Hull Forms during Early Stage Ship Design / S. Fung // Society of Naval Architects and Marine Engineers, Transaction. – Vol. 99. – P. 29-*
7. *Savitsky D. Hydrodynamic Design of Planning Hulls / D. Savitsky // Marine Technology. – 1964. – October. – Vol. 8. – № 4. – P. 71-95.*
8. *Mercier, J.A. Resistance of Transform – Stern Craft in the Preplanning Regime / J.A. Mercier, D. Savitsky // Davidson Laboratory Report № R-1667 / Stevens Institute of Technology. – June, 1973. – 96 p.*

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

УДК 629.5.018.71

В.А. Кочин, В.В. Мороз

**БУКСИРОВОЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
МОДЕЛИ ЧАСТИЧНО РАЗГРУЖЕННОГО С ПОМОЩЬЮ ВОЗДУШНОЙ
ПОДУШКИ КАТАМАРАНА, КОТОРЫЙ ДВИЖЕТСЯ В КАНАЛЕ
В ДИАПАЗОНЕ КРИТИЧЕСКИХ СКОРОСТЕЙ**

Приводятся результаты буксировочных испытаний модели частично разгруженного с помощью воздушной подушки катамарана в опытовом бассейне. Акцентируется внимание на особенностях возникновения и развития волн-солитонов перед судном, движущимся в диапазоне критических скоростей.

Ключевые слова: *опытовый бассейн, буксировочные испытания, буксировочное сопротивление, волна-солитон.*

Наведено результати буксировочних випробовувань моделі частково розвантаженого за допомогою повітряної подушки катамарана в дослідному басейні. Акцентується увага на особливостях виникнення та розвитку хвиль-солітонів перед судном, що рухається в діапазоні критичних швидкостей.

Ключові слова: *дослідний басейн, буксировочні випробовування, буксировочний опір, хвиля-солітон.*

Results of towing tests of partial air cushion supported catamaran model in a towing tank are presented. Special attention is accented on features of origin and development of soliton-waves in front of a vessel which moves in a range of critical speeds.

Keywords: *towing basin, towing tests, towing resistance, soliton-wave.*

На современном этапе развития мировой транспортной системы задача быстрой доставки груза или пассажиров в конечный пункт назначения становится доминирующей [1]. Поэтому водный транспорт по показателям скорости должен конкурировать с автомобильным и железнодорожным транспортом. В этих условиях становится уже невозможным рассматривать в качестве критерия эффективности транспортного средства исключительно экономические критерии, например, стоимость доставки груза, как это было раньше.

С точки зрения транзитных возможностей Украина имеет исключительно выгодное географическое положение. Через территорию Украины проходит сеть транспортных коридоров, которые соединяют страны СНГ со странами Европы. Некоторые из них проходят водным путем. В частности, 7-й европейский международный коридор проходит водным

путем по маршруту Вена – Братислава – Будапешт – Белград – Рени – Измаил – Усть-Дунайск с перспективой продолжения в направлении Николаева и Херсона. Значительная часть этого маршрута проходит в условиях ограниченного фарватера. Основным транспортным средством на этом маршруте должно быть быстроходное судно для перевозки контейнеров и колесной техники.

Для обозначения границы скорости, выше которой судно может считаться «быстроходным» конвенция *SOLAS* (Safety of Life at Sea) дает следующее определение [2]: «Быстроходное судно – это судно, способное развивать максимальную скорость v_{max} (м/с) большую, чем та, которая рассчитана по формуле $v = 3,7 \cdot V^{0,1667}$ (здесь V – объемное водоизмещение судна)». Анализ этой формулы показывает, что для «быстроходного» судна число Фруда Fr_V , вычисленное по объемному водоизмещению, должно превышать величину $Fr_V \geq 1,18$. Это означает, что с точки зрения гидродинамики судна «быстроходное» судно движется в переходном режиме движения.

На сегодняшний день существует достаточно широкий спектр гидродинамических схем судов, предназначенных для эксплуатации в переходном режиме движения. В 2001 году группой европейских государств была инициирована разработка проекта скоростного судна для 7-го европейского международного транспортного коридора. Этот проект получил условное обозначение *PACSCAT* – Partial Air Cushion Supported CATamaran [3].

В основу гидродинамической схемы *PACSCAT* было положено гидродинамическую схему судна на воздушной подушке скегового типа [4]. Скоростные характеристики этого судна и его эксплуатация в условиях ограниченного фарватера дают все основания считать, что судно будет приближаться к критическим скоростям движения, или даже в отдельных случаях переходить к сверхкритическим скоростям движения [5]. Под сверхкритической скоростью, как правило, понимают скорость судна $v > \sqrt{gh}$ (здесь h – глубина фарватера). Преимущества движения судна со сверхкритическими скоростями очевидны – относительно низкое сопротивление и малое волнообразование, однако переход судна к сверхкритическим скоростям сопряжен с преодолением так называемого «горба сопротивления» и очень интенсивным волнообразованием в диапазоне критических скоростей [5]. Особый интерес представляют волны-солитоны, которые возникают перед судном, движущимся в канале в диапазоне критических скоростей [6].

Учитывая эти обстоятельства, изучение гидродинамических характеристик и процесса волнообразования судна типа *PACSCAT* во время его движения в условиях ограниченного фарватера является *актуальной* задачей.

Целью работы является определение буксировочного сопротивления и параметров волн-солитонов, генерируемых судном типа *PACSCAT* в мелководном канале.

Изложение основного материала. Проект *PACSCAT* развивается рядом европейских государств с 2001 года. Исполнителями проекта являются 14 ведущих европейских научно-исследовательских организаций в области судостроения и водных перевозок, в частности, University of Southampton (UoS), Germanischer Lloyd AG (GL), Europäisches Entwicklungszentrum für Binnen und Küstenschiffahrt (VBD) и другие. Целью проекта является создание скоростного судна с низким уровнем волнообразования, которое будет способно работать на магистральных направлениях перевозок в бассейнах рек Рейна и Дуная. Грузоподъемность судна планируется на уровне 2000 тонн, а скорость будет составлять до 20 узлов (37 км/час). Осадка судна на ходу будет составлять около 1,5 метра, а на стоянке – около 2,5 метра.

С точки зрения теории корабля в основу гидродинамической схемы судна типа *PACSCAT* положено схему судна на воздушной подушке скегового типа [4]. В соответствии с классической схемой судна такого типа воздушная подушка под его днищем ограждается в носовой и кормовой частях при помощи гибкого ограждения, а по бортам – при помощи жестких корпусов-скегов. В проекте *PACSCAT* эта классическая схема была трансформирована следующим образом:

1. Была существенно развита ширина боковых корпусов, и они приобрели объемы, характерные для водоизмещающих судов.
2. Нижняя часть боковых корпусов была изготовлена плоской и ее форма характерной для глиссирующих судов.

Характерный вид поперечного сечения судна типа *PACSCAT* показан на рис. 1.

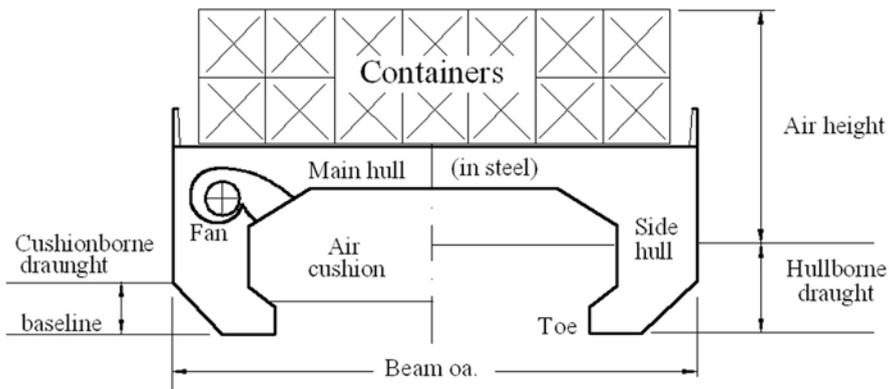


Рис. 1. Характерный вид поперечного сечения судна типа *PACSCAT*

Таким образом, судно типа *PACSCAT* является гибридным судном, в котором использованы элементы водоизмещающего судна и элементы судов с динамическими принципами поддержания – глиссирующего судна и судна на воздушной подушке.

Структура гидродинамических сил, которые действуют на судно типа *PACSCAT*, существенным образом отличаются от аналогичной структуры сил, действующих на судно на воздушной подушке скегового типа: главным образом за счет возникновения сил гидродинамической природы, которые действуют на боковые корпуса.

В гидродинамике судна, как правило, рассматривается два вида ограниченного фарватера – мелководье и канал. Мелководье характеризуется ограничением глубины воды и не имеет ограничений по ширине водоема, а канал имеет ограничения как по глубине, так и по ширине водоема. Плавание судна в реке в большей мере имеет признаки канала, а плавание судна в лимане или прибрежной морской зоне в большей мере имеет признаки мелководья.

В канале существует диапазон критических скоростей, при которых сопротивление воды движению судна резко увеличивается ($\mathcal{G}_{k1} - \mathcal{G}_{k2}$ и $\mathcal{G}_{k1} - \mathcal{G}_{k2}$ на рис.2, а) [7].

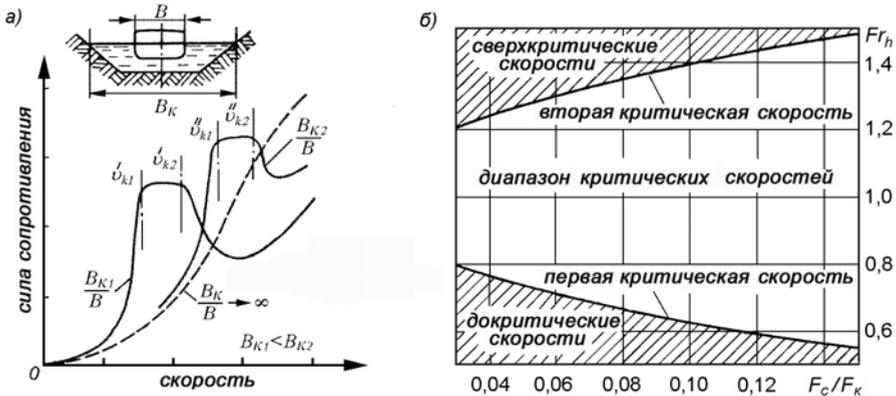


Рис.2. Сила сопротивления (а) и диапазон критических скоростей (б) при движении судна в канале

Скорость, при которой это явление начинает наблюдаться, имеет название первой критической скорости (на рис.2, а эта скорость обозначена индексом «k1»), а скорость, при которой это явление исчезает, имеет название второй критической скорости (на рис.2, а эта скорость обозначена индексом «k2»).

Основным фактором, влияющим на величину диапазона критических скоростей, является соотношение площадей поперечного сечения судна и канала [5]. На рис.2, б показан характерный вид зависимости диапазона критических скоростей от величины соотношения площадей по-

перечного сечения судна F_C и канала F_K . При этом скорость судна на рис.2, б представлена в виде числа Фруда, вычисленного по глубине канала $Fr_h = v / \sqrt{gh}$ (здесь v – скорость судна; g – ускорение свободного падения; h – глубина канала). Таким образом, при уменьшении соотношения F_C/F_K диапазон критических скоростей сужается. Скорости судна, меньше первой критической скорости, представляют собой область докритических скоростей, а скорости, больше второй критической скорости, представляют собой область сверхкритических скоростей. Следует отметить, что рост силы сопротивления в диапазоне критических скоростей сопровождается чрезвычайно интенсивным волнообразованием, которое приводит к разрушению берегов водного пути и размыву фарватера. Поэтому в практике судоходства каналами устанавливается ограничение максимальной скорости движения судна в виде процентов относительно первой критической скорости (обычно, около 75 %). Собственно, именно это обстоятельство и является основной причиной низкой скорости движения судов в канале.

В бассейне института гидромеханики НАН Украины были проведены буксировочные испытания модели судна типа *PACSCAT*, которое движется в условиях канала. Ширина бассейна составляет 6,7 метра, а уровень налива воды составлял $h \approx 150$ мм.

Модель судна была изготовлена из стеклопластика, армированного деревянным каркасом. Характерный вид миделевого сечения модели показан на рис.3, а. В носовой части модели межкорпусное пространство было ограждено гибким ограждением юбочного типа. В кормовой части межкорпусное пространство было ограждено с помощью трехкамерного гибкого ограждения (рис.3, б). На верхней палубе модели имелось несколько люков для укладки балласта и удифферентовки модели. Модель крепилась к буксировочной системе опытового бассейна при помощи специальных пилонов (рис.3, б). Точка крепления модели к пилонам находилась на пересечении линии действия упора движителя и поперечной плоскости в районе расположения центра тяжести.



*Рис.3. Характерный вид миделевого сечения (а)
и схема крепления модели (б) к буксировочной системе
опытового бассейна*

На палубе модели размещались вентиляторы для создания давления в междукорпусном пространстве и кормовом гибком ограждении.

Также на модели были установлены сенсоры давления, которые позволяли регистрировать давление воздуха в междукорпусном пространстве и в кормовом гибком ограждении.

Модель имела следующие главные размерения:

- длина между перпендикулярами 1425 мм;
- длина максимальная 1600 мм;
- ширина общая 550 мм;
- ширина бокового корпуса 120 мм;
- угол килеватости днища на миделе 17 град;
- весовое водоизмещение 18,72 кг.

С помощью вентиляторов в междукорпусном пространстве модели создавалось давление 250 Па. Такая величина давления обеспечивала разгрузку модели судна приблизительно на 2/3 его весового водоизмещения, т.е. при таком давлении воздуха в междукорпусном пространстве модель всплывала до такой ватерлинии, при которой Архимедова сила поддержания составляла только 1/3 ее веса, а остальная часть веса модели поддерживалась за счет воздушной подушки.

Размеры модели судна и уровень налива воды были выбраны таким образом, что при соотношении площадей поперечного сечения судна и канала $F_s/F_k = 0,03$ (см. рис.2, б) диапазон критических скоростей охватывал числа Фруда от $Fr_h = 0,8$ (первая критическая скорость) до $Fr_h = 1,2$ (вторая критическая скорость).

На участке установившегося движения вдоль направления движения на расстоянии 140 мм от правого борта модели был установлен двух-сенсорный волновой профилограф, который позволял регистрировать профиль волн, которые образуются во время движения модели судна (см. рис.4).

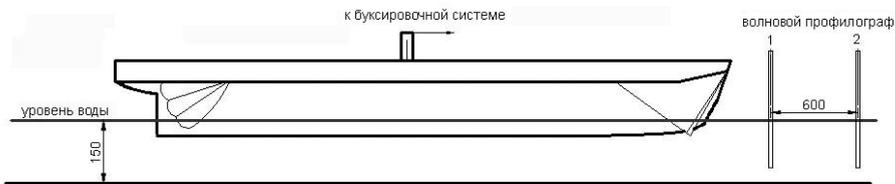


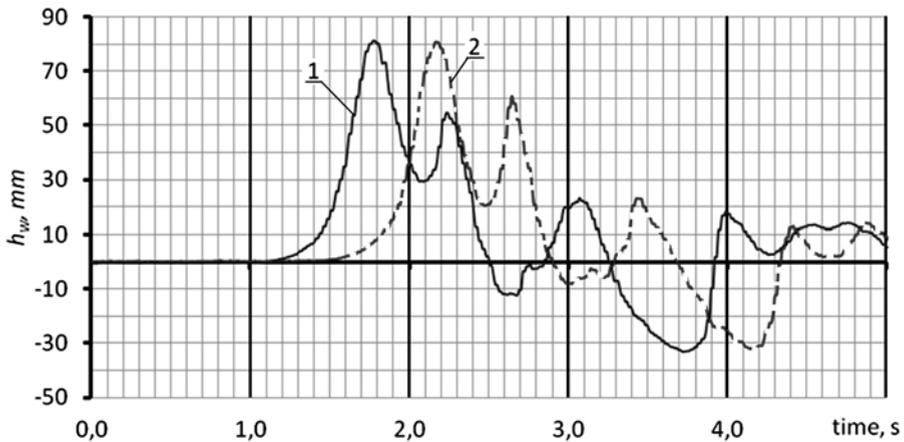
Рис.4. Схема установки волнового профилографа в опытном бассейне

Учитывая то, что расстояние между сенсорами профилографа в продольном направлении составляло $\Delta l = 0,6$ метра, то скорость распространения волн в направлении движения модели судна вычислялась по формуле $v = \Delta l / \Delta t$, где Δt – промежуток времени между характерными точками профилей волны, зарегистрированными соответственно первым

и вторым сенсорами профилографа. При этом регистрация профиля волны была синхронизирована с регистрацией положения модели судна относительно профилографа при помощи автоматизированной системы сбора и обработки данных опытового бассейна [8].

Как и ожидалось, перед моделью судна, которое движется в диапазоне критических скоростей, происходит генерирование волн-солитонов.

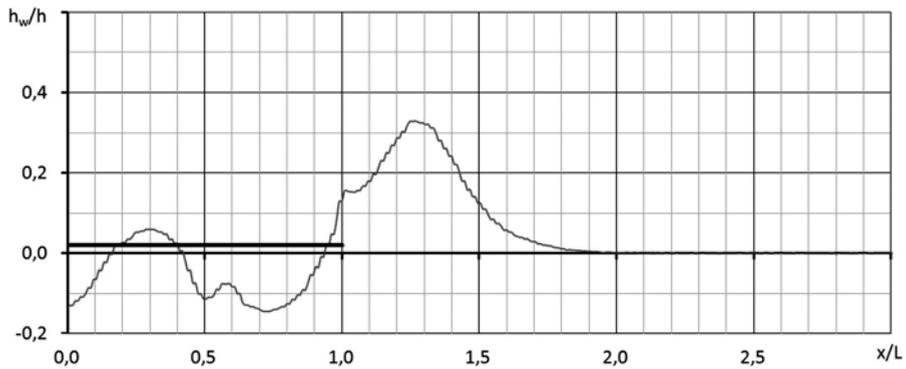
На рис. 5 показан пример записи профиля волны, которая регистрируется двухсенсорным волновым профилографом во время прохождения вдоль него модели судна.



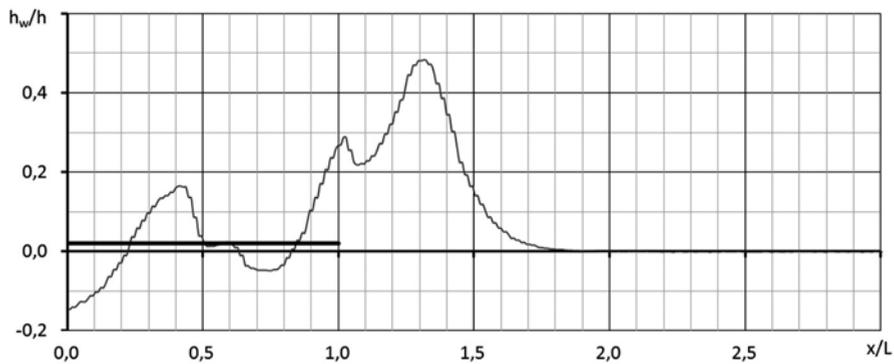
*Рис. 5. Пример записи профиля волны, которая регистрируется двухсенсорным волновым профилографом:
1 – первый сенсор; 2 – второй сенсор*

На рис.6 отображен во времени процесс развития волн-солитонов в жестко связанной с моделью судна системе координат, начало которой расположено в кормовой части модели. При этом ось абсцисс направлена по направлению движения модели, а ось ординат – вертикально вверх. Скорость движения модели соответствовала $Fr_h=1,0$.

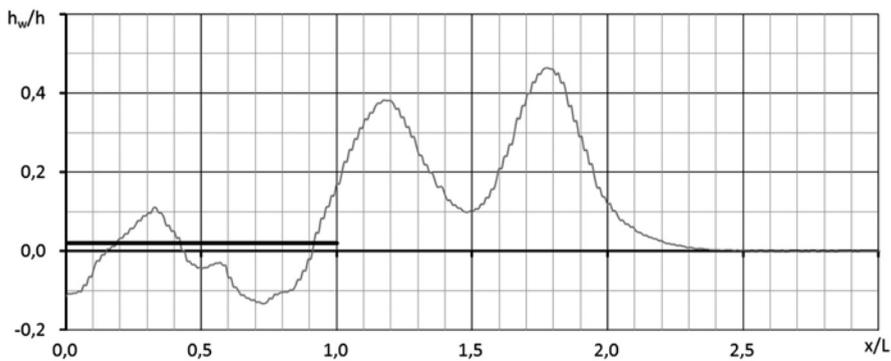
На ось абсцисс нанесена относительная дистанция распространения волн-солитонов в направлении движения модели, т.е. продольная координата x отнесена к длине модели судна L . На оси ординат нанесена относительная высота волн, которые генерируются моделью судна, т.е. высота волн h_w отнесена к глубине воды в бассейне h . Таким образом, координаты графика при $h_w/h = 0$ отображают профиль волны в кормовой части модели судна, при $h_w/h = 1$ – профиль волны в носовой части модели судна, а при $h_w/h = 2$ – профиль волны на расстоянии двух длин корпуса от кормы в направлении движения модели судна.



а)



б)



в)

Рис.6. Процесс развития волн-солитонов:
а) начальная стадия; б) формирование одиночного солитона;
в) формирование двойного солитона

Наблюдения за процессом возникновения волн-солитонов начинался с того момента, когда модель после старта уже достигла стационарной скорости. До этого момента вокруг модели судна сформировался

профиль водной поверхности, который полностью соответствует представлениям о волнообразовании вокруг судна, которое движется в диапазоне критических скоростей на мелководье ($Fr_h=1,0$), а именно: в носовой части судна наблюдается повышение уровня воды, а в кормовой части – понижение.

С течением времени наблюдается дальнейшее повышение уровня воды в носовой части модели судна (см. рис. 6, а). При этом уровень понижения воды в кормовой части остается неизменным. Фактически, уже к этому моменту времени повышение уровня воды в носовой части модели судна имеет все признаки уединенной волны, которая начинает двигаться в направлении движения со скоростью, которая превышает скорость модели. При этом происходит также и рост ее высоты. На момент отрыва волны от судна она уже имеет все явные очертания солитона и достигает своей максимальной высоты (см. рис. 6, б).

В момент полного отхода от модели первого из сформировавшихся солитонов и формирования второго солитона обращает на себя внимание то обстоятельство, что в этот момент времени уровень подъема воды в средней части модели, равно как и уровень понижения воды в кормовой части, достигают величин, зафиксированных в начале процесса (см. рис.6, в).

Следует также отметить, что максимальная высота волн-солитонов может составлять величину близкую к 50 % глубины воды в канале, в то время как понижение воды в кормовой части судна составляет величину 12-20 % глубины воды в канале.

При исследовании скорости распространения волн-солитонов в диапазоне критических скоростей оказалось, что она превышает скорость движения модели и равняется второй критической скорости. Это несколько отличается от традиционных представлений о скорости распространения волн-солитонов, в соответствии с которыми скорость распространения волн-солитонов зависит от ее высоты и глубины канала. В данном же случае – несмотря на то, что при увеличении скорости судна высота волн-солитонов также увеличивается, скорость распространения остается неизменной.

Чрезвычайно интересной оказалась зависимость гидродинамического сопротивления R модели судна типа *PACSCAT* от скорости движения в канале (см. рис. 7).

Оказалось, что характер этой зависимости отличается от традиционной, показанной на рис. 2, а. Прежде всего обращает на себя внимание то обстоятельство, что в диапазоне критических скоростей (диапазон $0,8 < Fr_h < 1,2$ на рис. 7, а) отсутствует явно выраженный «горб сопротивления», который характерен для традиционных типов водоизмещающих судов. Кроме этого, в диапазоне сверхкритических скоростей ($Fr_h > 1,5$) отсутствует заметное снижение гидродинамического сопротивления. Хотя наблюдения за картиной волнообразования свидетельствует о том, что волновое сопротивление этого судна уменьшается. Зависимость обратно-

го гидродинамического качества $\varepsilon = R/D$ (здесь D – весовое водоизмещение судна в состоянии покоя) модели судна типа *PACSCAT* от числа Фруда, вычисленного по объемному водоизмещению (см. рис. 7, б), более характерна для глиссирующих судов. К тому же величины ε на уровне 0,15-0,17 характерны именно для глиссирующих судов. Такое поведение зависимости обратного гидродинамического качества ε модели судна типа *PACSCAT* требует дополнительного исследования гидродинамических характеристик как глиссирующих пластин на мелководье, так и полей давления, которые движутся на мелководье.

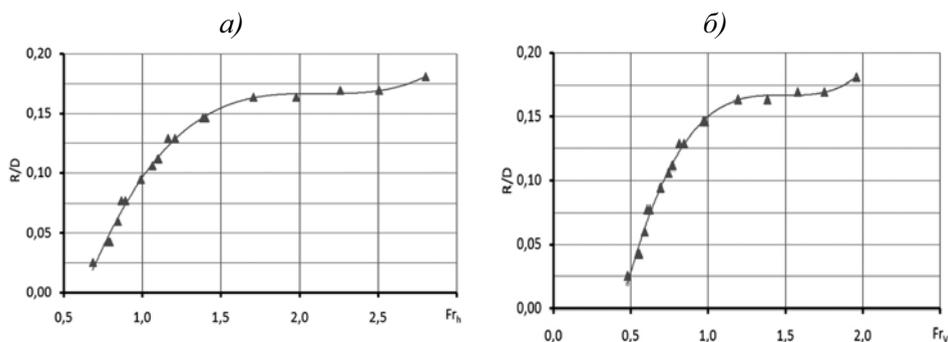


Рис. 7. Зависимость обратного гидродинамического качества модели судна типа PACSCAT от числа Фруда, вычисленного по глубине (а) и по водоизмещению (б)

Выводы. Проведенные в опытовом бассейне буксировочные испытания модели частично разгруженного с помощью воздушной подушки катамарана, движущегося в условиях мелководного канала, позволили сделать следующие выводы:

1. В диапазоне критических скоростей на зависимости буксировочного сопротивления от скорости нет характерного для водоизмещающих судов «горба сопротивления». Кривая зависимости буксировочного сопротивления от скорости имеет вид, характерный для глиссирующих судов.

2. Переход судна в зону сверхкритических скоростей сопровождается возникновением больших волн-солитонов, высота которых может достигать 50 % глубины воды в канале.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дубровский В.А., Соколов В.П. Каким быть парому Санкт-Петербургу–Хельсинки // Судостроение – СПб. – 2002. – № 3. – С.11-16.

2. Канифольский А.О. Термин «быстроходное малое судно прибрежного плавания» // Вісник ОНМУ. – 2010. – № 29. – С.17-25.
3. Clements R.J., Ivanov P., Lewthwaite J.C., Molland A.F., Wilson P.A. The potential for the use of a novel craft, PACSCAT (Partial Air Cushion Supported CATamaran), in inland European waterways // International Conference on Fast Sea Transportation FAST'2005, June 2005, St.Petersburg, Russia.
4. Смирнов С.А. Суда на воздушной подушке скегового типа. – Л.: Судостроение, 1983. – 216 с.
5. Басин А.М., Веледницкий И.О., Ляховицкий А.Г. Гидродинамика судов на мелководье. – Л.: Судостроение, 1976. – 320 с.
6. Кочин В.О., Мороз В.В. Виникнення та розвиток хвиль-солітонів перед судном, що рухається в каналі в діапазоні критичних швидкостей // Доповіді НАН України. – 2005. – № 1. – С.59-64
7. Басин А.М. Ходкость и управляемость судов. – М.: Транспорт, 1977. – 456 с.
8. Кочин В., Мороз В. Автоматизированная система сбора и обработки данных скоростного опытового бассейна // Современные технологии автоматизации. – 2009. – №3. – С.48-50.

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

УДК 629.5.018.71

В.Г. Белинский, В.А. Кочин, В.В. Мороз

**ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАДАЧ АЭРОДИНАМИКИ
МЕТОДАМИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

На конкретных примерах демонстрируются преимущества гидродинамических методов определения аэродинамических характеристик быстроходных судов. Акцентируется внимание на особенностях определения аэродинамических характеристик быстроходных судов, движущихся вблизи волновой поверхности.

Ключевые слова: гидродинамика, аэродинамические характеристики быстроходных судов, волновая поверхность

На конкретных прикладах демонстрируются переваги гідродинамічних методів визначення аеродинамічних характеристик швидкісних суден. Акцентується увага на особливостях визначення аеродинамічних характеристик швидкісних суден, що рухаються поблизу хвильової поверхні.

Ключові слова: гідродинаміка, аеродинамічні характеристики швидкісних суден, хвильова поверхня

The advantages of hydrodynamic methods of determining the aerodynamic characteristics of high-speed vessels are demonstrated on the particular examples. Special attention has paid to the typical features of determination of aerodynamic characteristics of high-speed vessels moving near a wave surface.

Keywords: hydrodynamics, aerodynamic characteristics of high-speed vessels, the wave surface

В настоящее время в конструкциях быстроходных судов все чаще используется аэродинамическая разгрузка [1]. Аэродинамическая разгрузка используется, например, на спортивных судах [2]. В последнее время появляются проекты создания и реально создаются довольно большие пассажирские суда с аэродинамической разгрузкой [3, 4].

В своей основе аэродинамическая разгрузка судна базируется на особенностях аэродинамики крыла вблизи экрана. Аэродинамические силы в общем балансе динамических сил, действующих на корпуса такого типа судов, имеют определяющее значение. Задачи аэродинамики быстроходных судов весьма разнообразны и охватывают как вопросы, связанные с определением аэродинамических характеристик отдельных элементов корпуса (несущие и рулевые поверхности, корпус и т.д.), так и вопросы, связанные с определением интегральных аэродинамических характеристик масштабных моделей конкретных судов. Чаще всего аэродина-

мические задачи быстроходных судов решаются экспериментальными методами в аэродинамических трубах [5]. Однако методы моделирования движения тел вблизи границ раздела, которые используются в аэродинамических трубах, зачастую не позволяют выполнить условие кинематического подобия [6]. Поэтому представляет интерес гидродинамический метод решения задач аэродинамики, который в частности обоснован и опробован в ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского [7, 8]. Применительно к задачам аэродинамики крыла вблизи экрана гидродинамический метод был развит в Институте гидромеханики НАН Украины [9-18]. Суть метода состоит в том, что движение крыла в воздушной среде заменяется в эксперименте движением крыла в водной среде, а жидкий плоский или волновой экран, над которым движется крыло, заменяется твердым плоским или волновым экраном. Замена воздушной среды водной средой вполне оправдана, т.к. в данном случае эффектами сжимаемости можно пренебречь, а при больших скоростях движения над жидким экраном он ведет себя как твердая поверхность [21, 22]. Кроме этого, такой способ моделирования позволяет достигать высоких чисел Рейнольдса ($2 \cdot 10^6$) при относительно малых размерах модели и скоростях буксировки (3-5 м/с), а также получать относительно большие силы, подлежащие измерению, что повышает точность их измерения. Следует также отметить, что этот метод решения задач аэродинамики быстроходных судов в настоящее время получает все большее распространение [19]. Поэтому, **представляется актуальным** анализ результатов экспериментов, полученных гидродинамическим методом, с точки зрения соответствия их результатам, получаемым аэродинамическим методом, а также с точки зрения совершенствования и развития методики проведения экспериментов.

Целью работы является совершенствование и развитие методики решения задач аэродинамики быстроходных судов гидродинамическими методами.

Изложение основного материала. В аэродинамической трубе граница раздела двух сред (вода-воздух) может быть смоделирована либо с помощью неподвижного экрана, либо с помощью двух моделей, расположенных в рабочей части трубы по принципу зеркального отображения [5]. На рис. 1 показаны эпюры распределения скоростей между телом и экраном в случае прямого движения крыла над неподвижным экраном (рис. 1, а), а также моделирования в аэродинамической трубе границы раздела неподвижным экраном (рис. 1, б) и по методу зеркального отображения (рис. 1, в).

Как следует из рис. 1, при движении натурального судна в пространстве между крылом и экраном образуется своеобразное течение (рис. 1, а), которое существенным образом отличается от течений, которые получают в случае моделирования с помощью неподвижного экрана (рис. 1, б) или метода зеркального отображения (рис. 1, в).

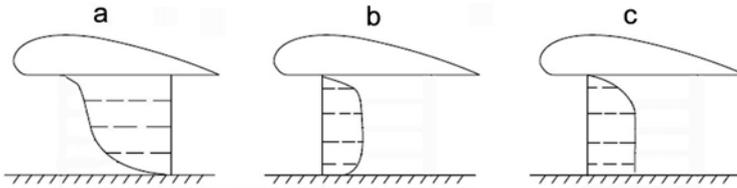


Рис. 1. Этюры распределения скоростей
между телом и экраном в случае:
а) прямое движение; б) неподвижный экран;
с) метод зеркального отображения

Методы моделирования границы раздела с помощью неподвижного экрана или зеркального отображения воспроизводят граничные условия обтекания натурального судна в предположении, что оно неподвижно относительно границы раздела. Для быстроходных судов, движущихся относительно поверхности воды с большими скоростями, граничные условия в обращенном потоке аэродинамической трубы можно воспроизвести только с помощью экрана, поверхность которого движется со скоростью набегающего потока. Создание такого экрана является очень сложной технической задачей. В истории экспериментальной аэродинамики известен только один случай создания такого экрана в ЦНИИ им.А.Н. Крылова [1]. При этом, при скорости воздушного потока в трубе до 100 м/с максимальная скорость ленты подвижного экрана составляет 30 м/с. Поэтому сложность конструкции подвижного экрана не позволяет использовать его в настоящее время как средство для массового эксперимента в аэродинамических трубах.

Ключевым моментом при экспериментальном определении аэродинамических характеристик быстроходных судов является число Рейнольдса Re , которое может быть достигнуто в процессе проведения эксперимента (здесь, $Re = v \cdot b / \nu$, где v – скорость потока; b – средняя аэродинамическая хорда, ν – коэффициент кинематической вязкости среды, в которой проводится эксперимент). В соответствии с рекомендациями [20] для пересчета результатов модельного эксперимента на натуральный объект должны быть достигнуты числа Рейнольдса не менее $2 \cdot 10^6$.

Таким образом, необходимость соблюдения кинематического подобия, а также достижение чисел Рейнольдса являются веским аргументом в пользу решения задач аэродинамики быстроходных судов гидродинамическими методами.

Для реализации гидродинамического метода определения аэродинамических характеристик быстроходных судов на дне скоростного опытового бассейна Института гидромеханики НАН Украины [9] был сооружен подводный твердый экран 1, состоящий из ряда плоских и волнообразных участков (см. рис.2, а) [9-18].

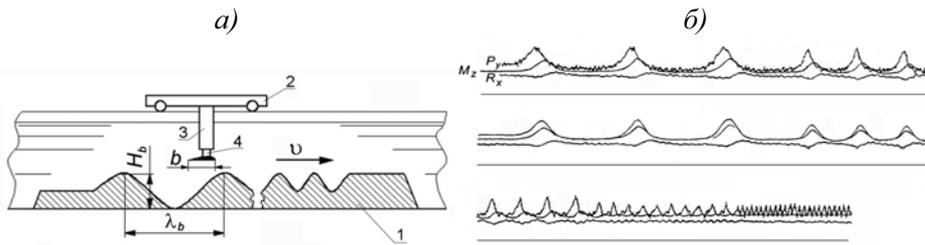


Рис.2. Схема экспериментальной установки (а), (б), характерный вид записи мгновенных значений подъемной силы крыла P_y , сопротивления R_x и продольного момента M_z [15]

Волнообразные участки состояли из отдельных групп синусоидальных волн различной длины $\lambda_b = (0.25 \div 5.00)$ метра и высоты $H_b = \lambda_b / 20$. Гребни всех волн ориентированы перпендикулярно продольной оси бассейна и находились на одном горизонтальном уровне.

На буксировочной тележке 2 бассейна был установлен вертикальный пилон 3, в нижнюю часть которого был вмонтирован трехкомпонентный тензометрический динамометр 4. Тензометрический динамометр 4 позволял регистрировать действующие на модель буксировочное сопротивление R_x , подъемную силу P_y и продольный момент M_z . Регистрация мгновенных значений гидродинамических сил, действующих на модель, осуществлялась с помощью автоматизированной системы сбора и обработки информации опытового бассейна [24]. Характерный вид записи мгновенных значений подъемной силы крыла P_y , сопротивления R_x и продольного момента M_z показан на рис.2, б.

Вертикальный пилон 3 имел приспособление для его перемещения по высоте и фиксации выбранного для испытаний положения крыла относительно гребней волны. Экран и испытуемая модель располагались в канале на достаточно большой глубине так, что влияние свободной поверхности воды исключалось.

Таким образом, сооруженный экран, общая протяженность которого составляла 70 метров, представлял собой своеобразный полигон, на котором движущаяся над ним с постоянной скоростью и на заданной высоте модель проходила последовательно над плоскими участками, расположенными на разной высоте, и над рядом групп волн, каждая из которых имела отличные от других параметры. Кроме этого, при каждом пробеге буксировочной тележки на участках бассейна перед экраном и после него модель фактически движется в условиях безграничной жидкости, что позволило эффективно контролировать результаты эксперимента.

Прежде всего, в опытовом бассейне были проведены сравнительные эксперименты с крылом, движущимся в водной среде над твердым

экраном, и с подобным ему крылом, движущимся в воздухе над свободной поверхностью воды [15].

Оба крыла были прямоугольной формы в плане и имели профиль ЦАГИ СР-16-6М с относительной толщиной 6 %. Воздушное крыло имело абсолютные размеры 1500×750 мм (здесь больший размер – размах крыла, а меньший – хорда) и испытывалось при скорости буксировки 18 м/с, а подводное – соответственно 500×250 мм и испытывалось при скорости буксировки 6 м/с. Оба крыла имели одинаковое удлинение $\lambda = l/b$, где l – размах крыла.

На рис. 3 приведены поляры $C_y = f(C_x)$ этих крыльев для различных отстояний от экрана $\bar{h} = b/h$, где h – отстояние от задней кромки крыла до экрана.

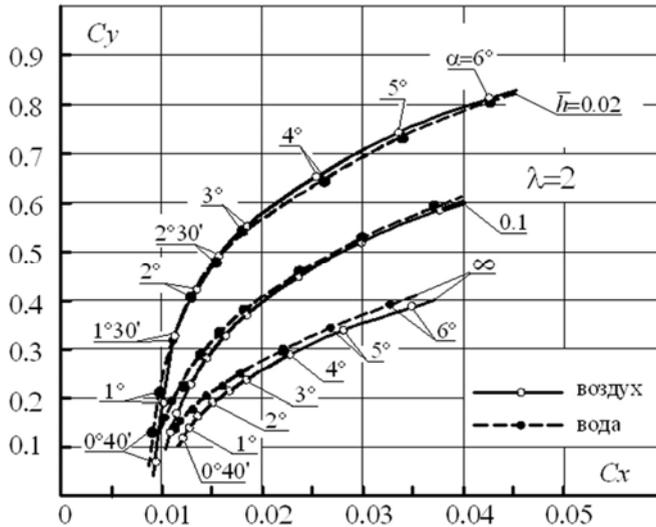


Рис.3. Сравнение результатов испытаний
воздушного и подводного крыла вблизи экрана [15]

Сравнение этих зависимостей для испытаний в воздушной и водной среде показывают их полное качественное соответствие. Имеющиеся незначительные количественные расхождения находятся в пределах точности измерений. Эти результаты свидетельствуют о практической равнозначности двух рассматриваемых методов испытаний крыла вблизи экрана.

Для демонстрации возможностей гидродинамического метода ниже приведены некоторые результаты решения типовых задач аэродинамики быстроходных судов.

Исследование аэродинамических характеристик изолированного крыла вблизи плоского и волнового экрана [9-17]. Была испытана

серия крыльев прямоугольной формы в плане с профилем ЦАГИ СР-16-6М с относительной толщиной 6 % и хордой $b = 160-250$ мм. Были испытаны крылья с различным удлинением $\lambda = l/b$ от $\sim 0,5$ до $5,0$. Схема экспериментальной установки показана на рис.2, а.

Длина плоских участков экрана составляла около $24b$, а длина волн волнового экрана λ_b изменялась в пределах от $20b$ до b . Высота волн экрана H_b на разных волновых участках была равна от $\lambda_b/20$ для относительно длинных волн до λ_b – для относительно коротких волн. Положение крыла относительно экрана характеризовалось относительным отстоянием \bar{h} задней кромки крыла до экрана.

При испытаниях измерялись мгновенные значения подъемной силы крыла P_y , сопротивления R_x и продольного момента M_z крыла относительно его передней кромки. Результаты испытаний представлялись в виде соответствующих безразмерных коэффициентов

$$C_y = \frac{2P_y}{\rho v^2 F}; C_x = \frac{2R_x}{\rho v^2 F}; C_{mz} = \frac{2M_z}{\rho v^2 F b} \quad (1)$$

где ρ – массовая плотность воды; F – площадь крыла в плане.

Среди многочисленных результатов испытаний, многие из которых стали классическими, прежде всего, следует отметить закономерность влияния удлинения крыла на его подъемную силу. На рис.4, а приведены результаты испытаний семи крыльев с различным удлинением λ от $0,5$ до $5,0$ над плоским экраном.

Из графика видно, что с увеличением удлинения крыла подъемная сила увеличивается при значениях \bar{h} . Однако интенсивность этого увеличения изменяется с ростом удлинения крыла. Прирост подъемной силы от влияния экрана с увеличением удлинения сначала увеличивается, а затем, начиная с некоторого удлинения, уменьшается. Следовательно, существует такое значение λ , при котором прирост подъемной силы от влияния экрана является наибольшим. Это наглядно видно из зависимости коэффициента подъемной силы крыла вблизи экрана C_{y_h} , отнесенного к своему значению на бесконечности C_{y_∞} , от удлинения крыла для различных значений \bar{h} (см. рис.4, б).

Здесь наибольший прирост подъемной силы крыла вблизи экрана достигается при значениях удлинения от $\lambda \approx 2$ до $\lambda \approx 3$. Следовательно, оптимальным с точки зрения прироста подъемной силы вблизи экрана является крыло с удлинением в пределах $2 < \lambda < 3$.

При движении крыла над волновым экраном подъемная сила, действующая на него (как и другие характеристики), непрерывно

изменяется в зависимости от изменения взаимного расположения крыла и волн экрана.

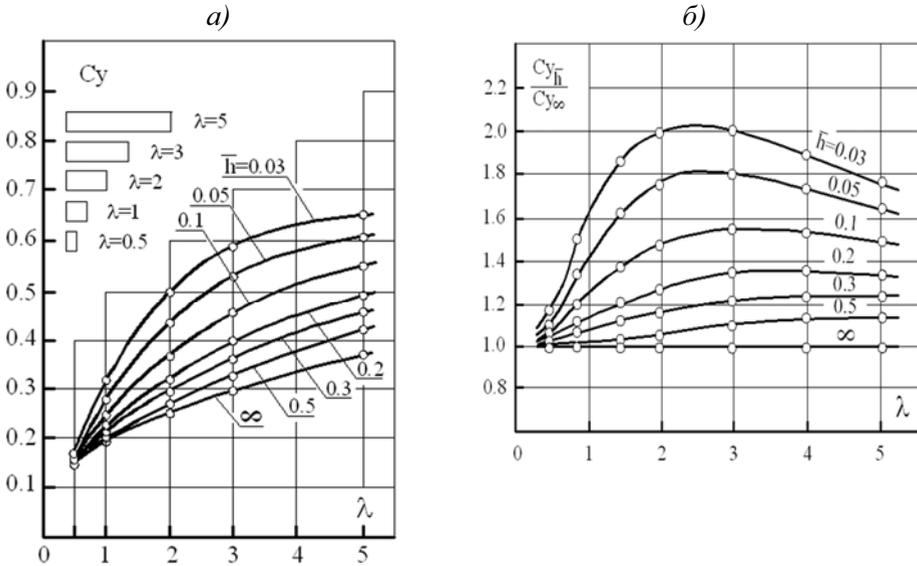


Рис.4. Зависимость коэффициента подъемной силы от удлинения крыла, движущегося над плоским экраном [15]:
а) – абсолютные значения; б) – относительные значения

В работах [10, 15] показано, что при движении над синусоидальным волновым экраном подъемная сила крыла изменяется не по синусоидальному закону. Кривая мгновенных значений подъемной силы скорее напоминает трохойду (рис.2, б).

Это является следствием нелинейной зависимости величины подъемной силы от положения по высоте крыла над экраном. Максимумы кривой мгновенных значений подъемной силы наступают раньше, чем передняя кромка крыла окажется над пиком гребня очередной волны экрана. Кривая подъемной силы не симметрична относительно вертикалей, проходящих через экстремальные точки этой кривой.

При этом ветви кривой подъемной силы, которые соответствуют приближению крыла к гребню волны, являются более полными, чем те, которые соответствуют удалению крыла от гребня волны. Необходимо также отметить, что как следует из работ [10, 15], средние за период волны значения подъемной силы крыла над волновым экраном превышают по величине значение подъемной силы крыла при его движении над плоским экраном, расположенным на уровне средней линии волны экрана.

Ниже приведено влияние некоторых параметров крыла и волнового экрана на кривую мгновенных значений коэффициента подъемной силы [16, 17]. В качестве величин, характеризующих влияние волнового экрана на мгновенное значение коэффициент подъемной силы, будем рассматривать:

- мгновенные значения коэффициента подъемной силы над гребнем волны C_{y_1} ;
- мгновенные значения коэффициента подъемной силы над подошвой волны C_{y_3} ;
- средние за период значения коэффициента подъемной силы $C_{y_{22}}$.

Эти значения коэффициента подъемной силы будем сравнивать с теми его значениями, которые он принимает:

- над плоским экраном на уровне гребней волн $C_{y_{01}}$;
- над плоским экраном на уровне средней линии волн $C_{y_{02}}$.

Индексами ($i=1, 01, 02, 3$) будем отмечать соответствующие расстояния (безразмерные) от задней кромки крыла до плоского или волнового экрана:

- до гребня и до подошвы волны h_1 и h_3 ;
- до плоского экрана на уровне гребней h_{01} ;
- до плоского экрана на уровне средней линии волны h_{02} .

На рис.5, а представлены характеристики кривой коэффициента подъемной силы C_{y_1} , C_{y_3} и $C_{y_{22}}$ в зависимости от угла атаки крыла. Разность ординат ($C_{y_1} - C_{y_3}$) определяет амплитуду колебаний подъемной силы крыла над волновым экраном.

Видно, что с увеличением угла атаки амплитуда возрастает и становится соизмеримой с подъемной силой крыла над плоским экраном на уровне средней линии волны (кривая $C_{y_{22}}$). Это обстоятельство дает представление о масштабе воздействия волнового экрана на динамику экраноплана. При малых углах атаки ($\theta \leq 1^\circ$) разность ординат ($C_{y_1} - C_{y_3}$) становится отрицательной. При этом крыло теряет подъемную силу, что может привести к удару крыла о гребень волны.

На рис.5, б представлены характеристики кривой подъемной силы C_{y_1} , C_{y_3} и $C_{y_{22}}$ в зависимости от удлинения крыла λ . Видно, что с увеличением удлинения крыла амплитуда кривой подъемной силы увеличивается и достигает максимума для крыла с удлинением $\lambda \approx 3$. При дальнейшем увеличении удлинения крыла амплитуда уменьшается.

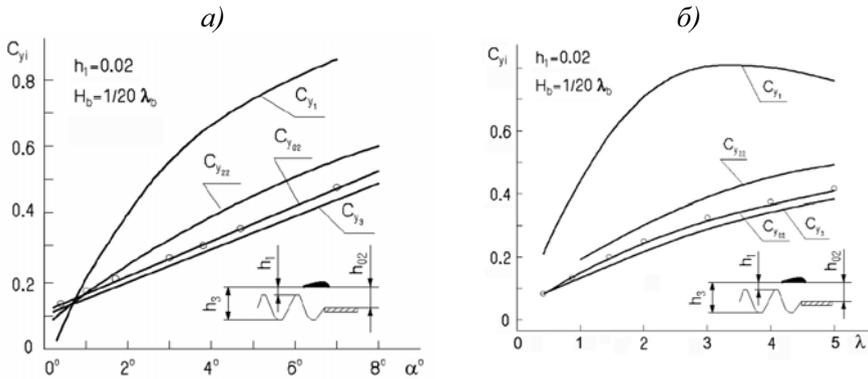


Рис. 5. Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки (а) и удлинения (б) крыла, движущегося над волновым экраном [17]

Превышение кривой C_{y22} над кривой C_{y02} отражает тот важный факт [10, 15], что среднее за период значение подъемной силы выше, чем при движении крыла над плоским экраном на уровне средней линии волны. Прирост подъемной силы крыла над волновым экраном (по сравнению с плоским экраном на уровне средней линии волны) выражается разностью ординат ($C_{y22} - C_{y02}$). Это обстоятельство также оказывает существенное влияние на динамику быстроходного судна с аэродинамической разгрузкой.

Исследование аэродинамических характеристик схематизированных моделей вблизи волнового экрана [18]. В Институте гидромеханики НАН Украины проводились экспериментальные исследования движения схематических моделей быстроходных судов с аэродинамической разгрузкой над волновым экраном. Схематические модели создавались на основе пары крыльев, условно «большое крыло» и «малое крыло». Крылья имели прямоугольную форму в плане, удлинение, равное 3, относительную толщину 6 %, плоскую нижнюю поверхность. «Большое крыло» имело хорду 250 мм, а «малое крыло» – 160 мм.

Устанавливая эти крылья на модели в той или иной комбинации, а также меняя их расположение друг относительно друга, формировались три условные схемы аэродинамической компоновки быстроходного судна с аэродинамической разгрузкой (см. рис. 6 – обозначения аналогичны рис. 2, а)

Схема «Самолет» – позиция б на рис. 6. «Большое крыло» (несущее) впереди «малого крыла» (стабилизатор). Стабилизатор располагался как в одной плоскости с несущим крылом, так и в приподнятом (на высоту, равную хорде) положении, чем выводился из зоны действия экрана. Стабилизатор имел отрицательный угол атаки.

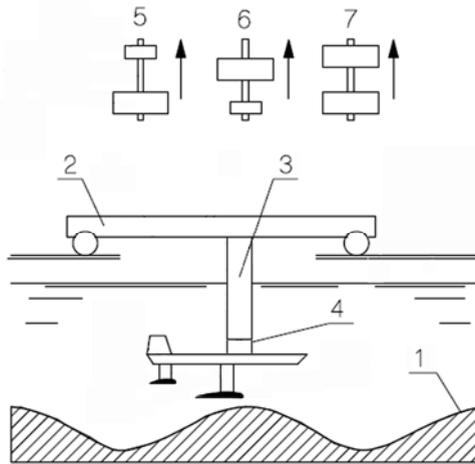


Рис. 6. Схема экспериментальной установки и схемы аэродинамической компоновки экраноплана [18]

Схема «Утка» – позиция 5 на рис. 6. Оба крыла несущие. «Малое крыло» располагалось впереди «большого крыла».

Схема «Тандем» – позиция 7 на рис. 6. Оба крыла «большие», несущие, расположены по концам модели.

Испытания по определению возмущающих сил и моментов проводились при жесткой подвеске моделей.

На рис. 7 представлены результаты измерения возмущающей подъемной силы C_{yb} и продольного момента C_m для трех наиболее характерных реализаций компоновок моделей по схемам «Самолет», «Утка» и «Тандем».

Коэффициент мгновенных значений возмущающей подъемной силы C_{yb} представлен в виде $C_{yb} = (C_y - C_{ycp}) / C_{ycp}$, где C_{yb} – коэффициент мгновенных значений подъемной силы модели при прохождении передней кромкой «большого крыла» над текущей ординатой профиля волны; C_{ycp} – коэффициент среднего за период значения подъемной силы. Коэффициент C_{yb} выражает, таким образом, текущую величину возмущающей подъемной силы в долях средней за период подъемной силы.

Коэффициент продольного момента C_m измерен относительно центра тяжести модели.

В нижней части каждого рисунка представлен профиль волны экранана (вертикальный масштаб изменен) и схема расположения модели в момент, когда производилось измерение мгновенных значений подъемной силы и продольного момента над гребнем волны.

На рис. 7, а представлены кривые Cyb и Cm для компоновки типа «Самолет» для случая, когда стабилизатор («малое крыло») расположен вне зоны действия экрана. Характер этих кривых соответствует, в общем, аналогичным кривым для изолированного крыла над волновым экраном (рис. 2, б). Кривые имеют экстремальные значения при прохождении модели над гребнями и впадинами волн. Кривые несимметричны относительно вертикалей, проходящих через экстремальные точки.

Амплитуда колебаний коэффициента возмущающей подъемной силы при движении модели от одного гребня волны до другого зависит от соотношения длины волны и хорды крыла, которые могут быть связаны в виде числа Струхала $Sh = 2\pi b/\lambda_b$, где b – хорда крыла, λ_b – длина волны. В соответствии с этим, как видно из рис. 8, амплитуда колебаний коэффициента возмущающей подъемной силы увеличением числа Струхала уменьшается. Амплитуда колебаний коэффициента продольного момента, под действием которого возникают угловые колебания модели, меньше зависит от числа Струхала.

Кривые Cyb и Cm для компоновок типа «Утка» (рис.7, б) и типа «Тандем» (рис.7, в) отличаются от рассмотренных выше не только величиной самих коэффициентов, но и формой над различными участками профиля волны экрана. Ввиду того, что в этих компоновках в зону действия экрана введено еще одно крыло (в первом случае малое, а во втором еще одно большое), форма кривых рассматриваемых коэффициентов значительно усложнилась. Появились дополнительные точки перегиба, точки экстремумов, выпуклости и вогнутости. Все это является результатом сложного взаимодействия системы из двух крыльев с волнами экрана различных параметров.

Различия трех рассмотренных компоновок моделей можно в определенной мере характеризовать графиком на рис. 8, на котором представлены амплитуды колебаний значений коэффициентов возмущающей подъемной силы $Ay = Cyb_{\max} - Cyb_{\min}$ и продольного момента $Am = Cm_{\max} - Cm_{\min}$ для каждой компоновки при движении моделей над волновым экраном при различных числах Струхала.

Для каждой компоновки эти амплитуды уменьшаются с ростом чисел Струхала, что связано с уменьшением длин волн экрана и увеличением средней за период подъемной силы. Но при переходе от схемы «Самолет» к схеме «Тандем» амплитуда колебаний возмущающей подъемной силы уменьшается, а амплитуда колебаний продольного момента увеличивается. Это связано с введением во второй схеме в зону действия экрана второго большого крыла. Схема «Утка» в этом смысле занимает промежуточное положение, так как в зону действия экрана вводится малое крыло.

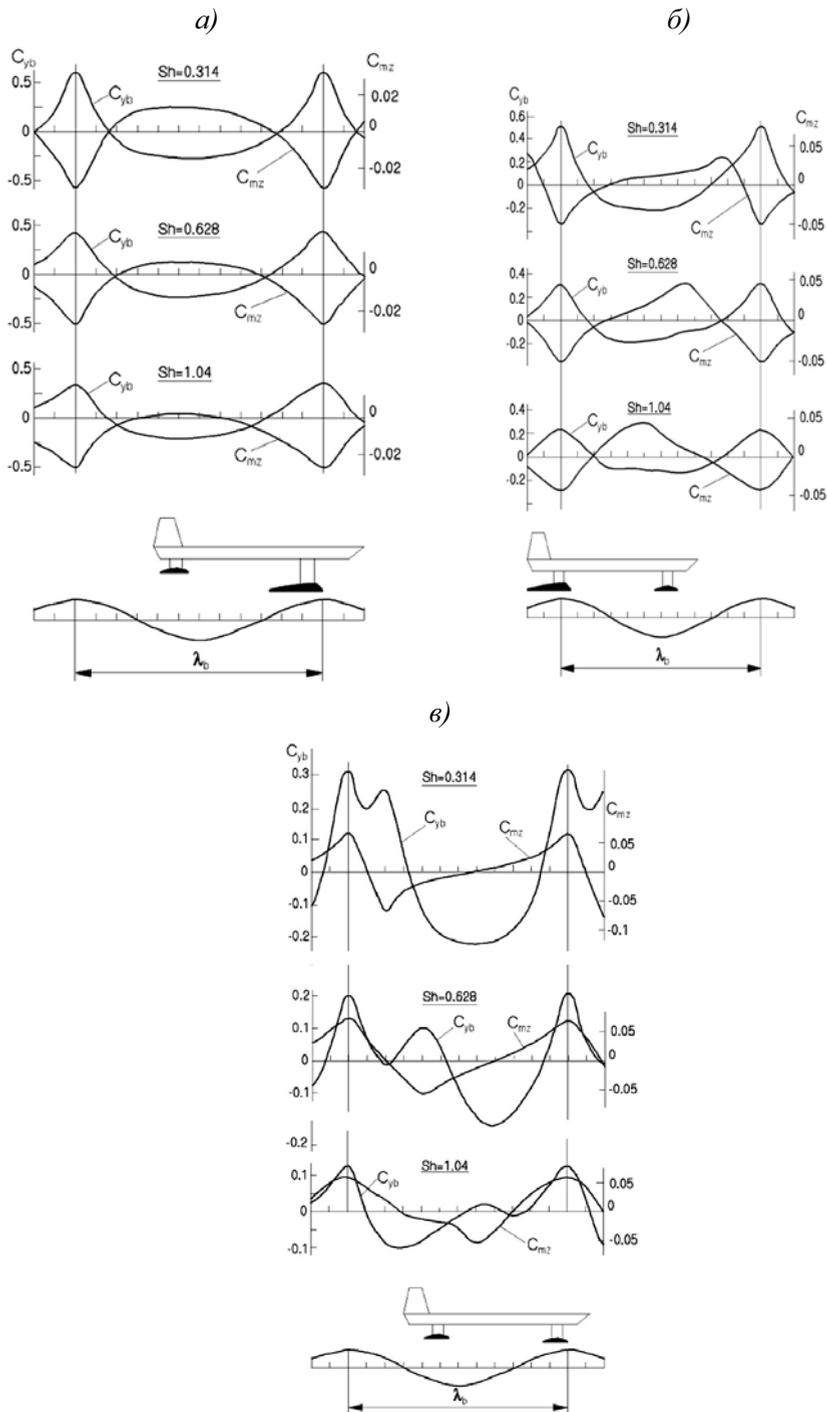


Рис. 7. Схема експериментальної установки і схеми аеродинамічної компоновки швидкохідного судна з аеродинамічною розвантаженням [18]

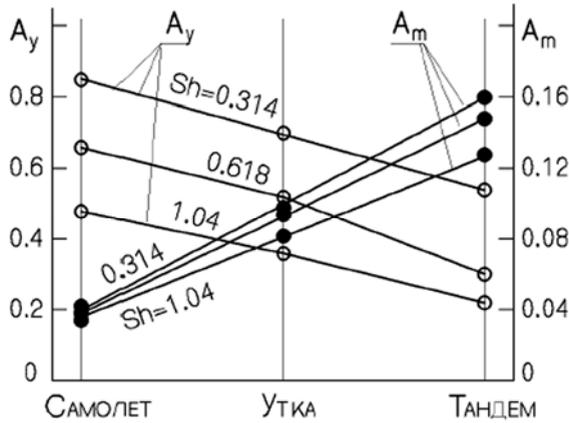


Рис. 8. Залежності амплитуд значень C_{yb} і C_m для трьох компоновок моделей від числа Струхаля [18]

Исследование аэродинамических характеристик масштабных моделей вблизи экрана. В Институте гидромеханики НАН Украины проводились экспериментальные исследования движения масштабных моделей малых экранопланов над плоским экраном. Большинство масштабных моделей имело нормальную самолетную аэродинамическую схему, типовой вид которой представлен на рис.9, а. В большинстве испытанных самолетных аэродинамических схем было использовано дельтовидное крыло с обратной стреловидностью (так называемая «схема Липпиша» [1]).

Модели буксировались с помощью специального пилона над плоским экраном шириной 2 метра и длиной 6 метров. Модели имели размах крыльев около 800 мм и длину около 900 мм. Схема экспериментальной установки аналогична той, которая показана рис.6. Дополнительно между моделью и тензометрическим динамометром устанавливались съемные переходники, позволяющие задавать модели различные углы атаки.

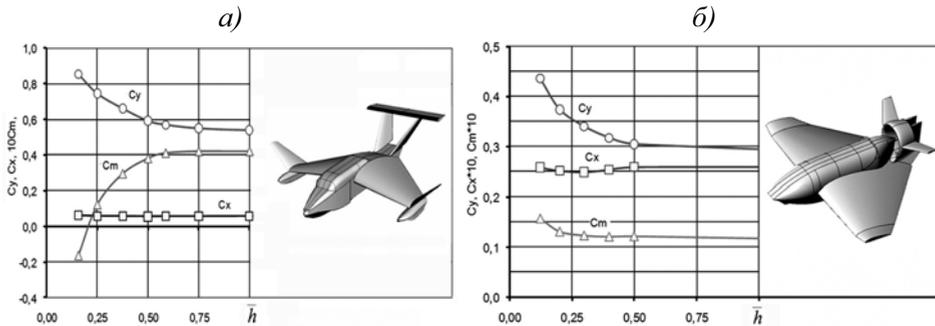


Рис. 9. Аеродинамічні характеристики масштабної моделі самолетної схеми (а) схеми типу «летаюче крило» (б)

При проведенні буксировочних испытаній масштабних моделей екранопланов оцінюваними показателями являлись коефіцієнти гідродинамічних сил, вичислені по (1). На рис.9, а представлений характерний вид залежностей коефіцієнтів підйомної сили C_y , опору C_x і продольного моменту C_{mz} від висоти польоту над екраном для типової нормальної літакової схеми швидкохідного судна. Незважаючи на те, що дельтаподібне крило з оберненою стрілоподібністю знижує діапазон переміщення аеродинамічного фокусу крила вздовж хорди при зміні висоти польоту, все ж повністю цю проблему вирішити не вдається. Коефіцієнт продольного моменту C_m на малих висотах польоту суттєвим чином залежить від висоти польоту.

З метою покращення продольної стійкості руху швидкохідного судна на малих висотах польоту була випробувана масштабна модель, виконана за аеродинамічної схеми «літаюче крило», зовнішній вигляд якої представлений на рис.9, б. Відмінною особливістю цієї аеродинамічної схеми було те, що корпус також є несуттєвим елементом. Нижня частина корпусу мала обернену кильоватість.

Таким чином, днище корпусу представляло собою несучу поверхню, на якій при наближенні до екрану створювалися достатньо великі аеродинамічні сили. Положення основного несущого крила і несучої поверхні днища відносно одне одного по висоті і довжині були вибрані таким чином, що коефіцієнт продольного моменту C_m мало залежить від зміни висоти польоту над екраном (див. рис.9, б).

Висновки. Приведений аналіз результатів досліджень аеродинамічних характеристик швидкохідних суден показує, що гідродинамічний метод порівняно з традиційними методами має цілий ряд суттєвих переваг. Зокрема, гідродинамічний метод дозволяє виконати умови кінематичного подобию при визначенні аеродинамічних характеристик швидкохідних суден, що рухаються поблизу вільної поверхні, і досягти при цьому великих чисел Рейнольдса. Особливо помітні переваги гідродинамічного методу стають при визначенні миттєвих аеродинамічних характеристик швидкохідних суден, що рухаються поблизу хвильової поверхні, тобто існує можливість точно фіксувати положення моделі відносно хвилі.

Серед напрямків удосконалення гідродинамічного методу слід відзначити вимірювання розподілу тиску на екрані і візуалізацію течії в просторі між екраном і моделлю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Yun L., Bliault A., Doo J. *WIG Craft and Ekranoplan. Ground Effect Craft Technology*. NY.: Springer Science+Business Media. – 2010. – 450 p.

2. *Формула 1 на воді (F1H2O) – найпрестижніші сучасні перегони у водно-моторному спорті*// <http://www.f1h2oukraine.com.ua/index.php/ua/about>
3. *Морское пассажирское скоростное судно «Акваплан»* http://www.zpkb.com/projects/innovacionnye_proekty/constr/morskoe_passazhirskoe_skorostnoe_sudno_akvaplan/
4. *Экранопланы для шельфа //Судостроение. – 2012. – № 3. – С. 68.*
5. *Трещевский В.Н. Аэродинамический эксперимент в судостроении /В.Н. Трещевский, Л.Д. Волков, А.И. Короткин. – Л.: Судостроение, 1976. – 192 с.*
6. *Clayton B. and Bishop R. Mechanics of Marine Vehicles, E.&F.N. SPON Ltd, London (1982)*
7. *Эпштейн Л. А. Гидродинамические методы исследования задач аэродинамики // Труды ЦАГИ // М., 1980. – Вып. 2035. – 28 с.*
8. *Гребешов Э.П. и др. Аэродинамические характеристики профиля крыла вблизи плоского и волнового экрана. // Труды ЦАГИ. –1976. – Вып.1725. – С. 31-58.*
9. *Белинский В.Г. Лаборатория гидродинамики гидрофизических систем (Гидростенд)//Книга, посвященная 75-летию юбилею Института гидромеханики НАНУ.– К.,2002. – С.225-239.*
10. *Белинский В.Г. и др. Максимальные и средние значения гидродинамических характеристик крыла, движущегося над неплоским экраном // Гидромеханика. –1974. – Вып. 29. – С.43-45.*
11. *Белинский В.Г. и др. Влияние формы неплоского экрана на гидродинамические характеристики движущегося над ним крыла // Гидромеханика. – 1975. – Вып. 31.– С.28-32.*
12. *Белинский В.Г. и др. О влиянии числа Струхаля на характеристики крыла вблизи волнового экрана // Гидромеханика. – 1975. – Вып. 31. – С.32-35.*
13. *Белинский В.Г., Оришичев В.А. Об эффективности закрылка вблизи твердой стенки // Гидромеханика. – 1985. – 52.*
14. *Byelinsky V.G. About Movement of a Wing above Wavy Surface of Water // Workshop on High Speed Body Motion in Water. AGARD Report 827. – К.,1997. – September 1-3. – P. 17.1-17.9.*
15. *Белинский В.Г., Зинчук П.И. Экспериментальные исследования движения крыла вблизи плоских и взволнованных границ раздела // Гидромеханика. – 1998. – 72. – С.30-45.*
16. *Byelinsky V.G., Zinchuk P. I. Hydrodynamical Characteristics of an Ekranoplane Wing Flying Near the Wavy Sea Surface // Fluid Dynamics Problems of Vehicles Operating Near or in Air Sea Interface. The Research and Technology Organization (RTO) of NATO. Meeting Proceedings 15. – Amsterdam. – 1998. – October 5-8. – P. 18.1-18.12.*

17. Белинский В.Г., Зинчук П.И. Влияние параметров волнового экрана на мгновенные значения подъемной силы движущегося над ним крыла // Прикладная гидромеханика. – 2001. – Т. 3(75). – № 1. – С. 4.
18. Белинский В.Г. О возмущенном движении экранопланов над взволнованной поверхностью моря // Прикладная гидромеханика. – 2006. – Т. 8(80). – № 3. – С. 3-15.
19. Iwashita H., Watanabe M., Nakanishi R. Numerical and Experimental Studies on Aerodynamic Properties of a Canard-Configuration WIG Flying over the Still Water and Waves / Proceedings of the 2nd Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics, Busan, Korea, June 21-22. – 2004.
20. Testing and Extrapolation Methods. High Speed Marine Vehicles. Resistance Test //ITTC – Recommended Procedures. – № 7.5-02 – 05-01. – 2002. – 17 p.
21. Панченков А.Н. Гидродинамика подводного крыла. – К.: Наукова думка, 1965. – 552 с.
22. Панченков А.Н., Драчев П.Т., Любимов В.И. Экспертиза экранопланов. – Н.Новгород, 2006. – 655 с.
23. Експериментальний комплекс для гідродинамічних досліджень Інституту гідромеханіки НАН України // <http://www.nas.gov.ua/infrastructures/NationalProperty/Years/2008/Pages/43.aspx>
24. Кочин В.А., Мороз В.В. Автоматизированная система сбора и обработки данных скоростного опытового бассейна // Современные технологии автоматизации. – 2009. – № 3. – С.48-50.

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

УДК 629.5.015.24

С.Н. Баскаков, Г.В. Егоров, А.В. Демидок, В.А. Нильва

**БУКСИРОВОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛИ ТАНКЕРА RST27
В УСЛОВИЯХ РЕГУЛЯРНОГО ВОЛНЕНИЯ**

Наведено результати дослідження додаткового опору на регулярному хвилюванні танкера з великою повнотою обводів пр. RST27. Виявлено падіння коефіцієнтів додаткового хвильового опору з ростом чисел Фруда. Практично це означає наявність якоїсь мінімально допустимої швидкості ходу в умовах хвилювання. Зниження швидкості менше цього мінімуму може призвести до повної зупинки судна або зробити його некерованим.

Ключові слова: танкер, додатковий опір на хвилюванні, мінімально допустима швидкість ходу.

Приведены результаты исследования дополнительного сопротивления на регулярном волнении танкера с большой полнотой обводов пр. RST27. Выявлено падение коэффициентов дополнительного волнового сопротивления с ростом чисел Фруда. Практически это означает наличие некой минимально допустимой скорости хода в условиях волнения. Снижение скорости меньше этого минимума может привести к полной остановке судна или сделать его неуправляемым.

Ключевые слова: танкер, дополнительное сопротивление на волнении, минимально допустимая скорость хода.

Results of research of added resistance on regular waves of the tanker with the big fullness of contours of pr. RST27. Fall of coefficients of an additional wave drag with growth of Froude number is determined. Practically it means presence of certain minimum admissible of speed in the conditions of disturbance. Lowering of speed less than this minimum can lead to a full stopping of a vessel or make its not navigate.

Keywords: tanker, a added resistance on regular waves, the minimum allowable speed.

Способность сохранять скорость в условиях волнения является одним из важнейших требований к судну. Одним из факторов, помимо слеминага, разгона гребного винта, заливаемости, ускорений при качке, влияющих на величину достижимой скорости, является увеличение сопротивления на взволнованной поверхности. Это явление учитывается введением дополнительного сопротивления на волнении. С физической точки зрения «дополнительное сопротивление на волнении» описывает потерю энергии судном в результате генерации волн качающимся судном, а точность его определения зависит от точности определения характеристик качки судна.

Существует достаточно много методов оценки дополнительного сопротивления от самых простых эмпирических до современных вычислительных методов [1]. Среди них теоретические методы оценки дополнительного сопротивления: Havelock [2], Maruo [3], Joosen [4], Boese [5], Gerritsma и Beukelman [6]. Эффективность этих методов оценивалась различными авторами, и как было показано Strom-Tejse и др., [7] ни один из них не позволяет точно оценить дополнительное сопротивление в широком диапазоне форм корпуса судна и скоростей.

В работе [8] выполнен анализ и сопоставление результатов, полученных наиболее эффективным методом Faltinsen и Salvesen [9]. Данная работа основана на применении линейной гидродинамической теории и использовании метода плоских сечений. Однако, этот метод имеет ряд недостатков, ограничивающих область его применения. Он принципиально не применим для обводов с полными оконечностями, характерными для современных судов для перевозки массовых грузов и судов внутреннего и смешанного районов плавания, имеющих коэффициенты общей полноты и полноты ватерлинии существенно больше 0,9 [10]. Для судов смешанного района плавания, по сравнению с морскими, характерен малый надводный борт. Это приводит к возникновению нелинейностей, связанных с вероятным входом палубы в воду. Указанные обстоятельства ведут к тому, что наиболее надежным способом определения характеристик судов с большой полнотой в условиях волнения продолжает оставаться эксперимент.

В опытовом бассейне Одесского национального морского университета [11] были выполнены исследования мореходных качеств танкера пр. RST27 [12], разработанного Морским инженерным бюро и строящегося серией из 28 судов на верфях Украины и России.

Модель танкера пр. RST27 изготовлена в масштабе 1:55 из пенопласта и покрыта сплавом воска с парафином. Для обеспечения жесткости модель имеет деревянный каркас. Основные характеристики судна и его модели приведены в таблице 1.

В носовой оконечности в районах нулевого (носовой перпендикуляр) и первого теоретического шпангоута на модели установлены два турбулизатора из медной проволоки диаметром 1,5 мм.

Для оценки ходовых качеств судна пр. RST27 были выполнены буксировочные испытания его модели в условиях регулярного волнения. Об обводах корпуса можно судить по рис. 1.

Модель испытывалась при относительных длинах волн λ / L 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 и 1,50. Относительная высота волны принималась 1/40. Для относительной длины волны $\lambda / L = 0,50$ были выполнены испытания и при крутизне волны 1.30. О поведении модели в условиях волнения можно судить по рис. 2.

Таблиця 1

Основные характеристики судна и его модели

Величина	Обозначение	Разм.	Численное значение	
			Натурное судно	Модель
Длина между перпендикулярами	L _{пп}	м	137,1	2,493
Длина по КВЛ	L _{wl}	м	140,85	2,561
Ширина по КВЛ	B	м	16,70	0,304
Осадка	d	м	3,60	0,065
Коэффициент общей полноты	C _B	-	0,929	
Объемное водоизмещение	V	м ³	7881,06	0,0474
Весовое водоизмещение	D	т	7881,06	0,0474
Смоченная поверхность	S	м ²	3225,4	1,0662

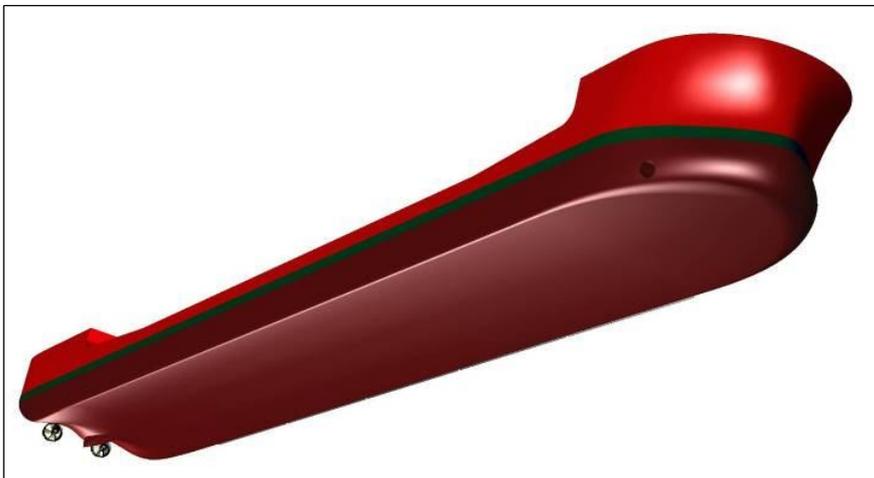


Рис.1. Обводы корпуса танкера пр. RST27

Результаты модельных испытаний пересчитаны на натурное судно по методике, описанной в [13]. На рис.3 представлены зависимости сопротивления воды от скорости хода в различных условиях. На рис. 4 приведены зависимости коэффициентов остаточного сопротивления от чисел Фруда.



Рис.2. Движение модели в условиях регулярного волнения
 $\lambda / L = 0,75$; $h / \lambda = 1 / 40$; $Fr = 0,125$

На рис. 5 приведены величины коэффициента дополнительного волнового сопротивления. Они находилось как разность коэффициентов остаточного сопротивления на волнении и на тихой воде

$$C_w = C_{r_{\text{на волнении}}} - C_{r_{\text{тихая вода}}}$$

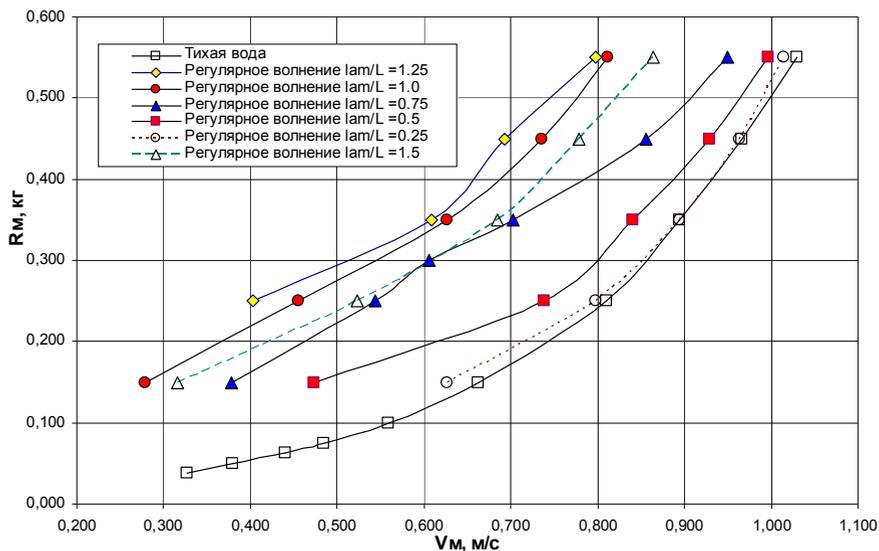


Рис. 3. Сопротивление модели танкера RST27 при осадке 4,20 м на регулярном волнении, $h/\lambda = 1/40$

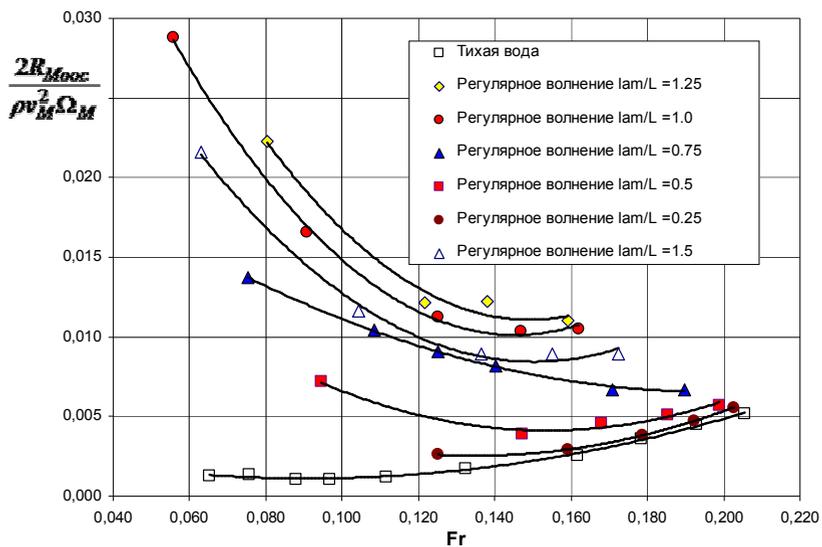


Рис. 4. Коэффициенты остаточного сопротивления танкера RST27, при осадке 4,20 м на регулярном волнении, $h/\lambda = 1/40$

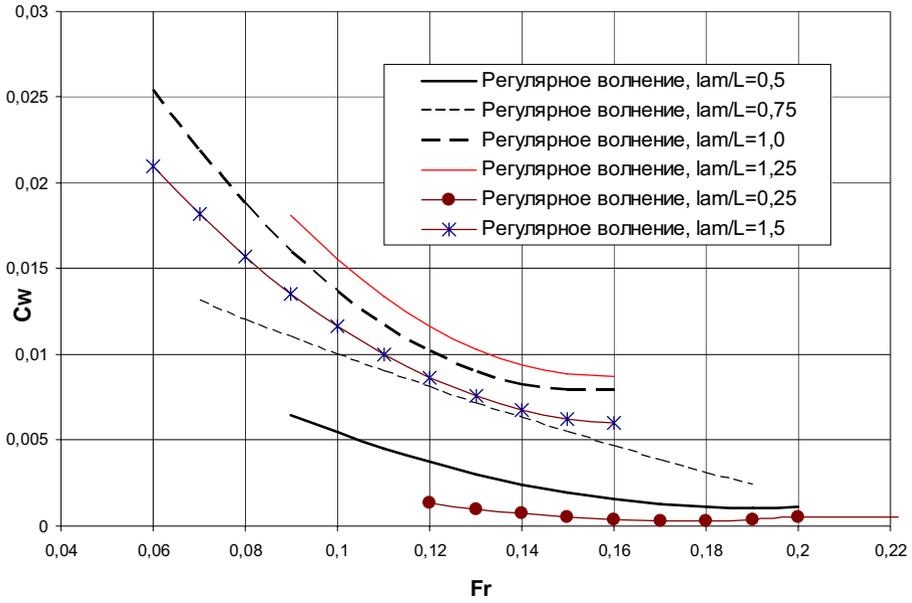


Рис.5. Коэффициент дополнительного волнового сопротивления

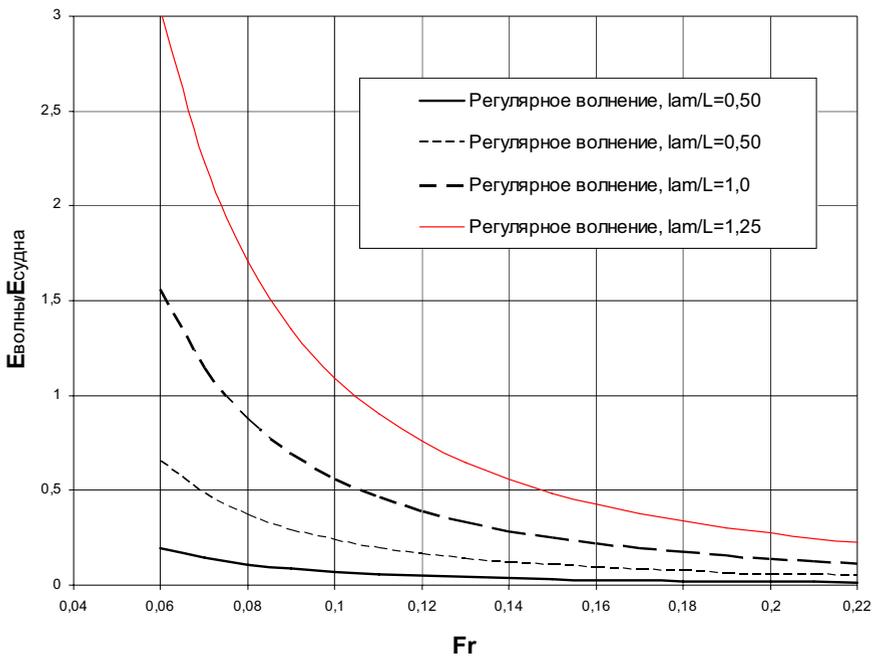


Рис. 6. Отношение энергии волны и кинетической энергии судна

Полная энергия волны в расчете на единицу длины гребня определялась по формуле

$$E = T + \Pi = \frac{\rho g}{2} \zeta_w^2 \lambda,$$

где T – кинетическая энергия;
 Π – потенциальная энергия;
 ρ – плотность жидкости;
 g – ускорение силы тяжести;
 ζ_w – амплитуда волны;
 λ – длина волны.

В качестве длины гребня принималась ширина судна. Кинетическая энергия судна рассчитывалась по формуле

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

где m – масса судна
 v – скорость судна

Из рис. 6 видно, что характер соотношений энергий волны и судна качественно соответствует величинам дополнительного волнового сопротивления.

Косвенно это подтверждается примененной в работе [8] процедурой обезразмеривания $\frac{R_{AW}}{\rho g \zeta_w^2 B^2 / L}$. Фактически обезразмеривание вы-

полняется по величине энергии волны.

В формах представления, приведенных в [8], полученные результаты имеют вид (рис.7). Характер полученных данных отличается от приводимых в [8], его особенность существенно больше значения коэффициентов дополнительного сопротивления на коротких волнах.

Практически это означает, наличие некоей минимально допустимой скорости хода в условиях волнения. Снижение скорости меньше этого минимума может привести к полной остановке судна или сделать его неуправляемым. Эта ситуация может быть чрезвычайно опасной. Качественно этот вывод подтверждается результатами модельных испытаний – а точнее невозможностью получить результат на малом ходу в условиях волнения.

Обоснование минимально допустимой скорости хода судна в условиях реального волнения является сложной технико-эксплуатационной задачей. При ее решении необходим учет работы гребного винта при качке, характеристик и условий работы гребного винта,

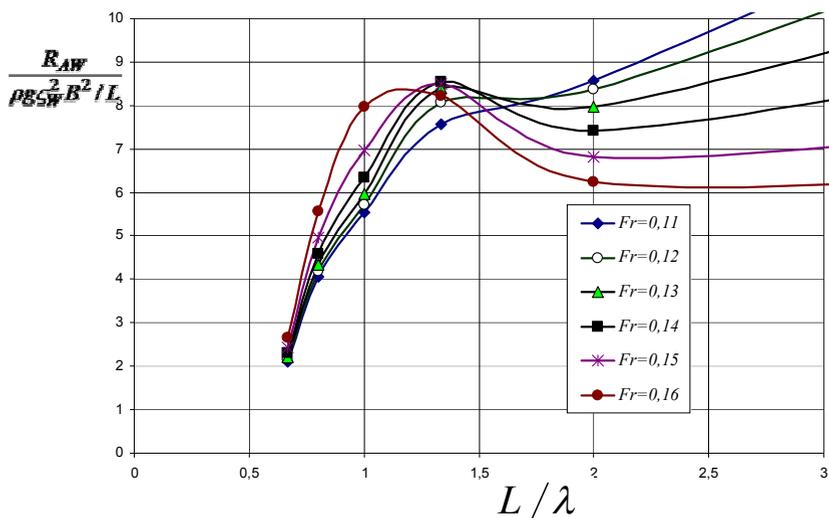


Рис. 7. Зависимость коэффициентов дополнительного волнового сопротивления от длин волн

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. PRPIĆ-ORŠIĆ, J., NABERGOJ, R., TRINCAS, G.: «The Methods of Added Resistance Estimation for Ships in a Seaway», Symposium Sorta 2008, Pula, Croatia, 2008.
2. HAVELOCK, T.H.: «Drifting Force on a Ship among Waves», Philosophical Magazine 33, 1942.
3. MARUO, H.: «The Excess Resistance of a Ship in a Rough Seas», International Shipbuilding Progress 4 (85), 1957.
4. JOSSEN, W.P.A.: «Added Resistance in Waves», The 6th Symposium on Naval Hydrodynamics, Washington, 1966.
5. BOESE, P.: «Eine Einfache Methode zur Berechnung der Widerstandserhöhung eines Schiffes in Seegang», Technical Report 258, Institut für Schiffbau der Universität Hamburg, 1970.
6. GERRITSMA, J., BEUKELMAN, W.: «Analysis of the Resistance Increase in Waves of a Fast Cargo-Ship», International Shipbuilding Progress 18 (217), 1972.
7. STROM-TEJSEN, J., YEH, H.Y.H., MORAN, D.D.: «Added Resistance in Waves», SNAME 81, 1973.
8. MATULJA D., SPORTELLIB., GUEDES SOARES C., PRPIĆ-ORŠIĆ J. Estimation of Added Resistance of a Ship in Regular Waves // Brodo Gradnja 62(2011)3, 259-264.
9. SALVESEN, N., TUCK, E.O., FALTINSEN, O. M.: «Ship Motions and Sea Loads», SNAME, Jersey City, 1970.

10. Егоров Г.В., Каневский Г.И., Станков Б.Н. Обоснование возможности создания танкера смешанного река-море плавания с предельно высоким коэффициентом обшей полноты // Судово-вождение: Сб. научн. трудов / ОНМА. – Вып. 20. – Одесса: ИздатИнформ, 2011. – С. 81-88.
11. Баскаков С.Н., Морозова И.В. Одесскому опытовому бассейну 80 лет // Судостроение и судоремонт. – 2012. – № 50. – С. 40-43.
12. Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Тонюк В.И. Особенности новых серий танкеров смешанного река-море плавания (проекты RST22M, RST25 и RST27) // Сб. трудов XI междунар. конф. «Российское судостроение и судоходство, Деятельность портов, освоение океана и шельфа «Нева 2011». – СПб., 2011. – С. 84-88.
13. Войткунский Я.И. Справочник по теории корабля. – Т. 1. – Л.: Судостроение, 1985. – 440 с.

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

УДК 629.5.01

Д.Т. Буй, А.В. Бондаренко, А.П. Бойко

**РАСЧЕТ БУКСИРОВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАТАМАРАНОВ
В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА**

Розглянуто питання визначення буксирувального опору катамаранів різних типів. Наведено результати тестування запропонованого алгоритму на прикладі суден типу СМПВ.

Ключові слова: катамаран, опір, достовірність, інтеграл Мічелла, задача синтезу.

Рассмотрен вопрос оценки буксировочного сопротивления катамаранов различных типов. Приведены результаты тестирования предложенного алгоритма на примере судов типа СМПВ.

Ключевые слова: катамаран, сопротивление, достоверность, интеграл Мичелла, задача синтеза.

The question of estimation of total resistance of catamaran of different types is considered. The results of testing of the offered algorithm are resulted on the example of SWATH ships.

Keywords: catamaran, resistance, validity, Michell integral, task of synthesis.

Введение. На начальных этапах проектирования катамаранов инженеру приходится решать задачу синтеза, т.е. выбора оптимальных характеристик. Как правило, эта задача предусматривает решение следующих вопросов: выбор главных размерений, расчет ходкости, остойчивости, непотопляемости, мореходности на волнении, нагрузки масс, прочности и оценка эффективности. Каждый из них является достаточно сложным и требует выбора определенного метода, применительно к поставленной задаче. В данной работе авторами рассматривается вопрос прогнозирования буксировочного сопротивления и мощности, поскольку точность оценки ходкости связана с достижимой скоростью катамарана и штрафными санкциями в случае ее отклонения от скорости, указанной в техническом задании на проектирование.

При решении задачи синтеза расчет буксировочного сопротивления может рассматриваться более упрощенно. Модельные испытания на этом этапе невозможно применить ввиду значительного количества вариантов характеристик судна.

Проведенный авторами анализ публикаций по данному направлению показывает, что в научной литературе опубликовано достаточно много работ, посвященных сопротивлению катамаранов [1-5].

Их анализ и обобщение дает возможность все рассматриваемые методы, используемые на начальных этапах проектирования, объединить в несколько групп с общими принципами расчета. В первую очередь следует назвать теоретические, параметрические методы и методы, базирующиеся на результатах модельных испытаний. В большинстве публикаций рассматриваются приближенные методы, основанные на результатах испытаний серийных моделей судов, которые малоприменимы в задаче синтеза.

Ввиду значительного удлинения корпусов катамаранов представляется целесообразным применить теоретические методы расчета буксировочного сопротивления, основанные на теории волнового сопротивления.

Цель статьи – проведение исследований, направленных на разработку алгоритма прогнозирования сопротивления катамаранов и проверка его достоверности.

Изложение основного материала. В данной статье для расчета полного сопротивления катамаранов предлагается использовать приближенный метод, в основу которого положены работы [6–8] с уточнениями для расчета волнового сопротивления. В соответствии с ним, полное сопротивление судна определяется как сумма сопротивлений трения R_F , формы R_{VP} , волнового R_W , струйного R_{SP} , выступающих частей R_{AP} и воздуха R_{AA}

$$R_T = R_F + R_W + R_{SP} + R_{AP} + R_{AA}.$$

Поскольку сопротивление формы удобно искать через форм-фактор, являющийся своего рода дополнительной надбавкой к сопротивлению трения, то R_F катамарана определяется по выражению [9], кН

$$R_F = \sum_{i=1}^n R_{Fi} (1 + k_i),$$

где R_{Fi} , k_i – соответственно сопротивление трения и форм-фактор отдельного корпуса судна; n – количество корпусов.

Данная формула применима для катамаранов различных типов. В частности, если рассматриваются суда с малой площадью ватерлинии (СМПВ), кроме корпусов необходимо учитывать и количество стоек. Таким образом, с учетом этого можно записать:

для катамаранов обыкновенного типа

$$R_F = 2(R_{FH} + R_A);$$

для катамарана типа СМПВ с одной стойкой на каждом корпусе

$$R_F = 2(R_{FS} + R_{FH} + R_A);$$

для катамарана типа СМПВ с двумя стойками на каждом корпусе

$$R_F = 2(R_{FS} + R_{FH} + R_{FSA} + R_A).$$

Сопротивление трения стойки R_{FS} , корпуса R_{FH} и шероховатостей R_A определяется по формулам

$$R_{FH} = \frac{\rho U^2}{2} F_{FH} C_{FH} A_H; \quad R_{FS} = \frac{\rho U^2}{2} F_{FS} C_{FS} A_S;$$
$$R_A = R_{COR} = \frac{\rho U^2}{2} C_A (A_H + A_S),$$

где U – скорость судна, м/с; F_{FH} , F_{FS} – форм-фактор корпуса и стойки соответственно; C_{FH} , C_{FS} – коэффициент трения корпуса и стойки соответственно; A_H – площадь смоченной поверхности одного корпуса; A_S – площадь смоченной поверхности одной стойки; C_A – коэффициент сопротивления шероховатостей принимается равным 0,0005 в соответствии с рекомендациями международной конференции опытовых бассейнов, а также данных работ [10, 11].

Площади смоченных поверхностей подводных корпусов A_H и стоек A_S определяются с использованием ординат теоретического чертежа, полученных по параметрической 3D модели поверхности.

Коэффициент трения стойки и подводного корпуса вычисляется по формуле

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} \text{Re} - 2)^2},$$

где Re – число Рейнольдса подводного корпуса или стойки.

Наибольшую трудность вызывает расчет волнового сопротивления. В рассматриваемом алгоритме для определения R_W применяется теория узкого судна (Mitchell, 1898) (для стоек), тонкого тела (для корпусов) [12-14]. Учет взаимодействия между корпусами и/или стойками проводится на основе теории движения тонкого тела на глубокой воде вдоль плоской вертикальной стенки [14].

В соответствии с этим волновое сопротивление катамарана определяется волновым сопротивлением каждого из корпусов, а также их взаимодействием

$$R_W = \sum_i R_{Wi} + \sum_i \sum_j \Delta R_{Wij},$$

где R_{Wi} – собственное волновое сопротивление каждого корпуса, при их изолированном движении в жидкости;

$\sum_i \sum_j \Delta R_{Wij}$ – дополнительное волновое сопротивление вследствие волно-

вого взаимодействия между корпусами.

Тогда, для катамарана

$$R_W = 2R_{WH} + R_{Wi},$$

где R_{WH} – волновое сопротивление одного корпуса, кН;

R_{WHS} – волновое сопротивление вследствие взаимодействия корпусов, кН.

Для СМПВ катамаранного типа с одной стойкой на корпусе

$$R_W = 2(R_{WH} + 2R_{WHS} + R_{WS}),$$

где R_{WH} , R_{WS} – волновое сопротивление подводного корпуса и стойки соответственно, кН; R_{WHS} – волновое сопротивление вследствие взаимодействия корпуса и стоек, кН.

Для двухстоечного варианта СМПВ

$$R_W = 2[R_{WH} + R_{WSF} + R_{WSA} + 2(R_{WHSF} + R_{WHS A} + R_{WSFA})],$$

где R_{WSF} – волновое сопротивление носовой стойки, кН; R_{WSA} – волновое сопротивление кормовой стойки, кН; R_{WHSF} , $R_{WHS A}$, R_{WSFA} – волновое сопротивление от взаимодействия корпуса и носовой стойки, корпуса и кормовой стойки, носовой и кормовой стоек, соответственно, кН.

Полагая корпуса "тонкими" симметричными и заменяя их воздействие на поток воды слоем источников, распределенных по диаметральной плоскости с интенсивностью, определяемой по формуле

$\sigma = \frac{U}{2\pi} \cdot \frac{\partial Y}{\partial x}$, можно получить следующее выражение для расчета составляющих волнового сопротивления [15]:

$$R_{WI} = 16\pi\rho k_0^2 \int_0^{\pi/2} (I^2 + J^2) \frac{d\theta}{\cos^3 \theta} [1 + \cos(2k_0 b \sec^2 \theta \sin \theta)],$$

где I и J вычисляются по формулам

$$I(\theta) = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_{-T}^0 \sigma(x, z) \exp(k_0 z \sec^2 \theta) \cos(k_0 x \sec \theta) dx dz;$$

$$J(\theta) = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_{-T}^0 \sigma(x, z) \exp(k_0 z \sec^2 \theta) \sin(k_0 x \sec \theta) dx dz;$$

где $k_0 = \frac{g}{U^2}$ – волновое число; $2b$ – расстояние между ДП корпусов. При

помощи интегрирования по частям интеграл преобразовывается к интегралам от самой функции, а не ее производной [12]

$$R_W = \frac{4\rho g^4}{\pi U^6} \int_0^{\pi/2} (I^2 + J^2) w^2 \sec^5 \theta d\theta,$$

где

$$J(\theta) = - \int_{-\frac{L-T}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_0^0 Y(x, z) \exp(k_0 z \sec^2 \theta) \cos(k_0 x \sec \theta) dx dz;$$

$$I(\theta) = \int_{-\frac{L-T}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_0^0 Y(x, z) \exp(k_0 z \sec^2 \theta) \sin(k_0 x \sec \theta) dx dz;$$

$w = 2 \cos(k_0 b \sec^2 \theta \sin \theta)$, $Y(x, z)$ – ординаты теоретического чертежа.

Для преодоления трудностей, связанных с быстрым осциллированием подынтегральной функции использовался алгоритм [12], суть которого состоит в применении метода трапеций для интегрирования по z , метода Филона – для интегрирования по x и метода Симпсона для интегрирования по θ . Вычисление интеграла проводится в следующем порядке. Интервал интегрирования по θ $[0, \pi/2]$ делится на N_θ равных участков. Для каждого полученного участка по правилу трапеций сначала вычисляется интеграл (для всех шпангоутов)

$$F(x, \theta) \approx \sum_{j=0}^{N_z} C_j Y(x, z_j) \exp(k_0 z_j \sec^2 \theta) \Delta z,$$

где Δz – расстояние между ватерлиниями, м;

N_z – количество ватерлиний;

C_j – веса, определяемые по формулам:

$$C_0 = (e^K - 1 - K) / K^2; C_{N_z} = (e^{-K} - 1 + K) / K^2;$$

$$C_j = (e^K - e^{-K} - 2) / K^2 \quad \text{– для всех } j \neq 0 \text{ и } N_z; K = k_0 \sec^2 \theta \Delta z.$$

Затем, используя метод Филона, вычисляются интегралы

$$J(\theta) \approx - \sum_{i=1}^{N_{x-1}} C_i F(x_i, \theta) \cos(k_0 x_i \sec \theta) \Delta x;$$

$$I(\theta) \approx \sum_{i=1}^{N_{x-1}} C_i F(x_i, \theta) \sin(k_0 x_i \sec \theta) \Delta x,$$

где Δx – расстояние между шпангоутами, м; N_x – количество шпангоутов; C_i – веса, определяемые по формулам

$$C_{2i} = (3K + K \cos 2K - 2 \sin 2K) / K^3 \text{ – для всех четных } i;$$

$$C_{2i+1} = 4(\sin K - K \cos K) / K^3 \text{ – для всех нечетных } i;$$

$$K = k_0 \sec \theta \Delta x.$$

После этого, используя метод Симпсона, проводится интегрирование по θ .

Для упрощения расчетов при разработке алгоритма учитывались особенности катамаранов типа СМПВ. В частности было введено допущение о том, что стойки имеют одинаковую по высоте форму ватерлиний (что соответствует большинству построенных СМПВ). В связи с этим для описания формы стойки достаточно знать ординаты на уровне конструктивной ватерлинии. Для повышения точности расчетов, полученные ординаты аппроксимировались с помощью сплайнов. При принятых допущениях вычисление функций I и J интеграла волнового сопротивления стойки проводится по формулам

$$J(\theta) = - \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} Y(x) [1 - \exp(-k_0 h_s \sec^2 \theta)] \cos(k_0 x \sec \theta) dx;$$

$$I(\theta) = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} Y(x) [1 - \exp(-k_0 h_s \sec^2 \theta)] \sin(k_0 x \sec \theta) dx.$$

Остальные составляющие полного сопротивления рассчитывались по известным формулам теории корабля. Затем определяется величина буксировочной мощности

$$P_E = R_T U, \text{ кВт.}$$

и мощность главных двигателей

$$P = \frac{P_E}{\eta_s \eta_D} (SM + 1), \text{ кВт,}$$

где η_s – пропульсивный коэффициент, значение которого принимается в зависимости от типа движителя; η_D – КПД передачи мощности от двигателя к движителю [7]: для газотурбинной установки, высоко- и среднеоборотного дизелей $\eta_D = 0,97$; для дизель-электрической и газотурбоэлектрической $\eta_D = 0,88-0,92$; SM – коэффициент, учитывающий запас мощ-

ности. Для многокорпусных судов, как правило, принимается равным 10-15 %.

Данный алгоритм расчета полного сопротивления был реализован в виде компьютерной программы, с помощью которой выполнены некоторые тестовые расчеты, позволяющие судить о достоверности результатов.

Для этого была проведена серия испытаний модели СМПВ (рис. 1) в опытовом бассейне НУК.



а



б

*Рис. 1. Фотографии моделей СМПВ:
а – двухстоечный вариант (тип А);
б – четырехстоечный вариант (тип В)*

Испытуемая модель СМПВ была выполнена в масштабе 1:40 (рис. 2) и состояла из двух подводных торпедообразных корпусов, соединенных с надводной платформой, расположенными на каждом подводном корпусе одной (тип А) и двумя (тип В) вертикальными стойками. Носовая оконечность подводных корпусов имеет эллиптическую форму, кормовая оконечность – параболическую. Модель выполнена разборной, в процессе испытаний можно изменять горизонтальный клиренс, осадку, а также проводить буксировку одиночного корпуса. Основные геометрические характеристики модели приводятся в табл. 1.

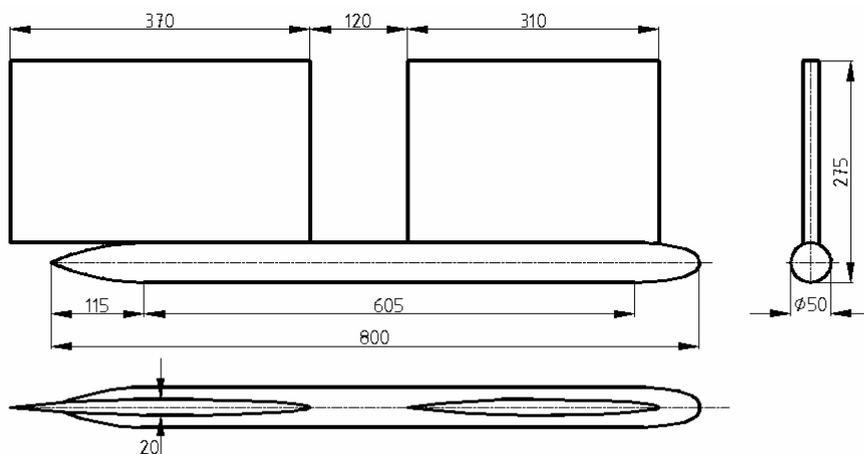


Рис. 2. Геометрические параметры модели СМПВ

Таблица 1

Основные характеристики моделей СМПВ

Характеристика	Значение	
	тип А	тип В
Длина подводного корпуса, м	0,80	
Диаметр подводного корпуса, м	0,05	
Осадка, м	0,075; 0,10	
Горизонтальный клиренс, м	0,25; 0,30; 0,35; 0,40	
Длина носовой стойки, м	0,80	0,31
Длина кормовой стойки, м	–	0,37
Расстояние между стойками, м	–	0,12

Буксировочные испытания модели проводились в диапазоне скоростей от 0,5 до 3,0 м/с, что соответствует числам Фруда по длине от 0,17 до 1,07. Замеры показаний, запись и обработка результатов осуществлялись на компьютере с помощью программного обеспечения, созданного

на кафедре теории и проектирования судов НУК для проведения буксировочных испытаний в опытовом бассейне. Эксперимент проводился в два этапа. На первом этапе испытывалась модель с двумя стойками на каждом подводном корпусе. После завершения первого этапа пространство между стойками было зашито и были проведены испытания варианта СМПВ с одной стойкой на каждом подводном корпусе. Также в процессе модельных испытаний варьировались значения осадки и горизонтального клиренса.

Обработка результатов испытаний проводилась традиционным способом с учетом особенностей двух- и четырехстоечных СМПВ, путем пересчета на натурное судно длиной 32 м. Схема пересчета следующая.

Сначала определяется остаточное сопротивление модели как разница полного сопротивления, полученного в результате эксперимента и сопротивления трения модели

$$R_{RM} = R_{T_M} - 2 \left(R_{FH_M} + \sum_{i=1}^n R_{FSi_M} \right),$$

где R_{RM} – остаточное сопротивление всей модели; R_{T_M} – полное сопротивление, полученное в результате эксперимента; n – количество стоек на каждом корпусе.

Учитывая сложную конструкцию СМПВ катамаранного типа, в данной работе расчет сопротивления трения производился отдельно для подводных корпусов и стоек.

Сопротивление трения подводного корпуса модели находится по формуле

$$R_{FH_M} = C_{FH_M} \frac{\rho_M U_M^2}{2} A_{H_M},$$

где $C_{FH_M} = \frac{0,455}{(\lg \text{Re}_{H_M})^{2,58}}$ – коэффициент сопротивления трения под-

водного корпуса модели; U_M – скорость модели, м/с; ρ_M – плотность воды в бассейне; A_{H_M} – площадь смоченной поверхности подвод-

ных корпусов модели, м²; $\text{Re}_{H_M} = \frac{U_M L_{H_M}}{\nu_M}$ – число Рейнольдса

подводного корпуса модели; L_{H_M} – длина подводного корпуса модели; ν_M – коэффициент кинематической вязкости жидкости в бассейне.

Сопrotивление трения i -й стойки модели рассчитывается по формуле

$$R_{FSi_M} = C_{FSi_M} \frac{\rho_M U_M^2}{2} A_{Si_M},$$

где $C_{Fi_M} = \frac{0,455}{(\lg \text{Re}_{Si_M})^{2,58}}$ – коэффициент сопротивления трения i -й

стойки модели; A_{Si} – площадь смоченной поверхности i -й стойки модели, m^2 ; $\text{Re}_{Si_M} = \frac{U_M L_{Si}}{\nu_M}$ – число Рейнольдса i -й стойки модели; L_{Si} – длина i -й стойки модели.

Полученная величина остаточного сопротивления преобразуется в безразмерный коэффициент остаточного сопротивления по формуле

$$C_{R_M} = \frac{R_{R_M}}{\frac{\rho_M U_M^2}{2} A_M},$$

где A_M – площадь смоченной поверхности всей модели.

Заметим, что экспериментальная зависимость коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда полагается одинаково справедливой для модели и натуре.

Для получения зависимости полного сопротивления натурального судна от его скорости необходимо выполнить пересчет с учетом сопротивления трения, вычисленного в соответствии с числами Рейнольдса, характеризующими режим течения в пограничном слое судна по следующей методике.

Рассчитывается коэффициент сопротивления трения подводного корпуса натурального судна по известной формуле Прандтля-Шлихтинга

$$C_{FH_Ship} = \frac{0,455}{(\lg \text{Re}_{H_Ship})^{2,58}},$$

где $\text{Re}_{H_Ship} = \frac{U_{Ship} L_{H_Ship}}{\nu_{Ship}}$ – число Рейнольдса подводного корпуса

натурного судна;

U_{Ship} – скорость натурального судна, m/s ;

L_{H_Ship} – длина подводного корпуса натурального судна, m ;

ν_{Ship} – коэффициент кинематической вязкости жидкости.

Определяется коэффициент сопротивления трения стоек натурального судна

$$C_{FSi_Ship} = \frac{0,455}{(\lg \text{Re}_{Si_Ship})^{2,58}},$$

где $\text{Re}_{Si_Ship} = \frac{U_{Ship} L_{Si_Ship}}{\nu_{Ship}}$ – число Рейнольдса i -й стойки натурального судна;

V_H – скорость натурального судна, м/с;

L_{Si_Ship} – длина i -й стойки натурального судна, м.

Коэффициент сопротивления трения всего натурального судна

$$C_{F_Ship} = C_{FH_Ship} + C_{FSi_Ship}.$$

Коэффициент полного сопротивления натурального судна

$$C_{T_Ship} = C_{F_Ship} + C_{R_M} + C_A,$$

где $C_A = 0,0005$ – корреляционная надбавка на шероховатость.

Затем рассчитывается значение полного сопротивления натурального судна

$$R_{T_Ship} = C_{T_Ship} \frac{\rho_{Ship} U_{Ship}^2}{2} A_{Ship},$$

где A_{Ship} – площадь смоченной поверхности натурального судна.

По описанной методике был выполнен пересчет буксировочного сопротивления с модели на натурное судно двухстоечного (табл. 2) и четырехстоечного вариантов СМПВ.

Также по результатам испытаний и данным теоретического расчета построены графики зависимости буксировочного сопротивления от числа Фруда для двухстоечного (рис. 3, а) и четырехстоечного (рис. 3, б) СМПВ.

Сравнительный анализ данных теоретического расчета и результатов модельных испытаний подтвердили адекватность и достоверность разработанного алгоритма. Средняя квадратическая погрешность не превышает 7,0 % для двухстоечного варианта и 6,5 % для тандемных стоек.

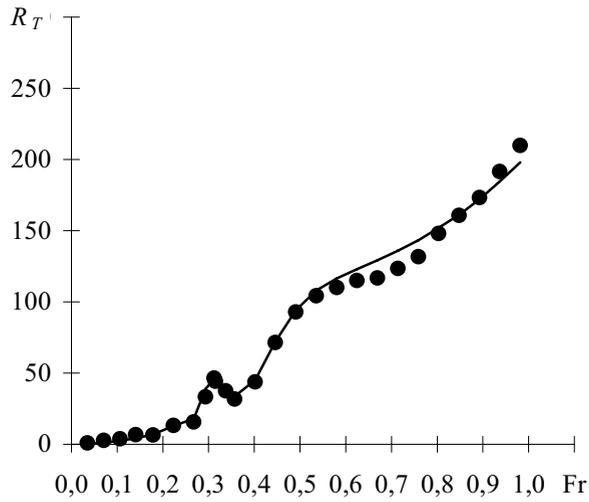
Таблиця 2

Результаты пересчета с модели на натурное судно

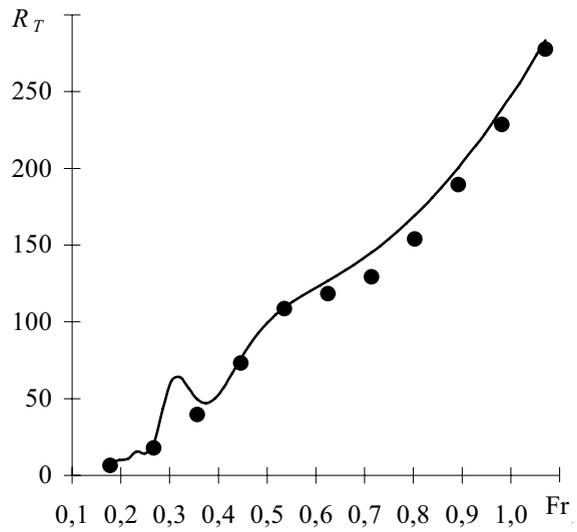
U_M , м/с	F_{RM}	R_{DMH}	$Re_{HM} 10^{-6}$	$Res_M 10^{-6}$	$C_{FM} 10^3$	$C_{FS} M 10^3$	$R_{FH} M, H$	$R_{SH} M, H$	$R_{44} M, H$	$R_{R, M, H}$	$C_{RM} 10^7$
0.088	0.088	7,363	0.004	0.002	0.002	0.000	0.009				13,110
0.177	0.177	6,319	0.012	0.005	0.001	0.001	0.023				8,099
0.266	0.266	5,799	0.026	0.011	0.001	0.001	0.023				3,598
0.352	0.352	5,475	0.042	0.019	0.003	0.003	0.042				3,747
0.446	0.446	5,222	0.065	0.029	0.004	0.004	0.005				0,285
0.558	0.558	4,998	0.097	0.043	0.006	0.006	0.057				2,048
0.669	0.669	4,825	0.135	0.060	0.009	0.009	0.034				0,836
0.732	0.732	4,742	0.159	0.070	0.011	0.011	0.267				5,530
0.780	0.780	4,685	0.178	0.079	0.013	0.013	0.435				7,936
0.787	0.787	4,677	0.181	0.080	0.013	0.013	0.398				7,145
0.844	0.844	4,616	0.205	0.091	0.015	0.015	0.257				4,009
0.892	0.892	4,568	0.227	0.100	0.017	0.017	0.134				1,868
1.003	1.003	4,468	0.281	0.124	0.021	0.021	0.229				2,524
1.115	1.115	4,381	0.340	0.150	0.026	0.026	0.553				4,948
1.226	1.226	4,305	0.404	0.179	0.031	0.031	0.775				5,725
1.338	1.338	4,237	0.473	0.209	0.037	0.037	0.834				5,179
1.449	1.449	4,175	0.547	0.242	0.044	0.044	0.800				4,234
1.561	1.561	4,119	0.626	0.277	0.051	0.051	0.742				3,385
1.672	1.672	4,068	0.710	0.314	0.058	0.058	0.630				2,505
1.784	1.784	4,022	0.798	0.353	0.066	0.066	0.583				2,035
1.895	1.895	3,978	0.891	0.394	0.075	0.075	0.551				1,703
2.007	2.007	3,938	0.989	0.438	0.084	0.084	0.632				1,744
2.118	2.118	3,900	1.092	0.483	0.093	0.093	0.650				1,611
2.230	2.230	3,865	1.199	0.530	0.103	0.103	0.655				1,465
2.341	2.341	3,832	1.310	0.580	0.114	0.114	0.745				1,510
2.750	0.982	5,060	2,453	3,801	3,801	3,801	1,426	0,631	0,125	0,820	1,515
2.875	1,026	5,551	2,564	3,771	3,771	3,771	1,547	0,684	0,136	0,951	1,608
3.000	1,071	6,080	2,676	3,743	3,743	3,743	1,672	0,740	0,149	1,108	1,720

Продолжение табл. 2

$U_M, \text{м/с}$	$U_S, \text{м/с}$	$Re_H \cdot 10^{-8}$	$Res \cdot 10^{-8}$	$C_{FH} \cdot 10^3$	$C_{FS} \cdot 10^3$	$R_{FH}, \text{с.кН}$	$R_{FS}, \text{с.кН}$	$R_A, \text{с.кН}$	$R_R, \text{с.кН}$	$R_T, \text{с.кН}$
0,099	0,625	0,168	0,168	2,746	2,746	0,088	0,039	0,023	0,603	0,902
0,198	1,252	0,337	0,337	2,454	2,454	0,314	0,139	0,092	1,496	2,588
0,298	1,885	0,508	0,508	2,304	2,304	0,668	0,296	0,209	1,506	3,853
0,395	2,498	0,673	0,673	2,208	2,208	1,126	0,498	0,368	2,755	6,738
0,500	3,162	0,852	0,852	2,133	2,133	1,742	0,771	0,589	0,335	6,538
0,625	3,953	1,064	1,064	2,065	2,065	2,635	1,166	0,920	3,770	13,212
0,750	4,743	1,277	1,277	2,011	2,011	3,696	1,635	1,325	2,217	15,531
0,821	5,192	1,398	1,398	1,986	1,986	4,373	1,935	1,588	17,564	33,356
0,875	5,534	1,490	1,490	1,968	1,968	4,923	2,178	1,804	28,633	46,443
0,882	5,578	1,502	1,502	1,966	1,966	4,996	2,210	1,833	26,192	44,272
0,946	5,983	1,611	1,611	1,947	1,947	5,691	2,518	2,109	16,909	37,545
1,000	6,325	1,703	1,703	1,932	1,932	6,311	2,792	2,356	8,803	31,720
1,125	7,115	1,916	1,916	1,900	1,900	7,857	3,476	2,982	15,055	43,686
1,250	7,906	2,129	2,129	1,873	1,873	9,561	4,230	3,682	36,433	71,377
1,375	8,696	2,342	2,342	1,849	1,849	11,418	5,052	4,455	51,005	92,855
1,500	9,487	2,555	2,555	1,827	1,827	13,429	5,941	5,302	54,911	104,255
1,625	10,277	2,768	2,768	1,807	1,807	15,591	6,898	6,222	52,683	110,104
1,750	11,068	2,980	2,980	1,789	1,789	17,902	7,921	7,216	48,853	114,931
1,875	11,859	3,193	3,193	1,773	1,773	20,362	9,009	8,284	41,496	116,805
2,000	12,649	3,406	3,406	1,758	1,758	22,969	10,162	9,425	38,367	123,480
2,125	13,440	3,619	3,619	1,744	1,744	25,722	11,380	10,640	36,249	131,734
2,250	14,230	3,832	3,832	1,730	1,730	28,620	12,663	11,929	41,606	148,029
2,375	15,021	4,045	4,045	1,718	1,718	31,663	14,009	13,291	42,824	160,748
2,500	15,811	4,258	4,258	1,707	1,707	34,848	15,418	14,727	43,141	173,125
2,625	16,602	4,471	4,471	1,696	1,696	38,175	16,890	16,236	49,017	191,620
2,750	17,393	4,684	4,684	1,686	1,686	41,644	18,425	17,819	54,005	209,781
2,875	18,183	4,897	4,897	1,676	1,676	45,254	20,022	19,476	62,629	232,132
3,000	18,974	5,109	5,109	1,667	1,667	49,003	21,681	21,206	72,958	256,739



a)



б)

Рис. 3. Графік буксировочного опору:
а) одностоечного СМПВ; б) двустоечного СМПВ

• – експеримент; — – розрахунок по розробленій програмі

Вывод. Разработанный алгоритм расчета полного сопротивления катамаранов и созданная на его основе компьютерная программа могут использоваться при концептуальном проектировании для решения задач определения ходкости, а также оптимизации формы корпуса и выбора оптимальных проектных характеристик.

Результаты, полученные с помощью теоретического расчета по разработанной авторами программе, достаточно точно совпадают с данными испытаний моделей малого размера.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Subramanian, V.A. Resistance optimization of hard chine high speed catamarans / V.A. Subramanian, G. Dhinesh, J.M. Deepti // The Journal of Ocean Technology. – 2006. – Vol.1.– № 1. – P. 69-83.*
2. *Sahoo, P.K. A Practical evaluation of resistance of high-speed catamaran hull forms – Part I / P.K. Sahoo, M. Salas // Ships and Offshore Structures. – 2007. – Vol. 2. – № 4. – P. 307-324.*
3. *Michell, J.H. The Wave-Resistance of a Ship / J.H. Michell // Philosophical Magazine. – 1898. – Ser. 5. – Vol. 45. – P. 106-123.*
4. *Tuck E.O. Wave Resistance of Thin Ships and Catamarans: Report T8701 / E.O. Tuck // Department of Applied Mathematics. The University of Adelaide. – Adelaide, Australia, 1987. – 21 p.*
5. *Molland A.F. Resistance Experiments on a Systematic Series of High Speed Displacement Catamaran Forms: Variation of Length-Displacement Ratio and Breadth-Draft Ratio / A.F. Molland, J.F. Wellicome, P.R. Couser // Ship Science Report. – № 71. University of Southampton, UK. – 1994. – 84 p.*
6. *Yoon J.D. Development of a Computational Tool to Estimate the Resistance of SWATH ships / J.-D. Yoon, D.-D. Ha, H.-H. Chun // Journal of the Society of Naval Architects of Korea. – 1988. – Vol. 12. – № 3. – P. 39-52.*
7. *Bertram V. SWATH Ship Design Formulae Based on Artificial Neural Nets / V. Bertram, E. Mesbahi // Journal of Ship Technology. – 2007. – Vol. 3. – № 1. – P. 1-9.*
8. *Salvesen N. Hydro-Numeric Design of SWATH Ships / N. Salvesen, C.H. Kerczek, C. Scragg // Trans. SNAME. – Vol. 93. – 1985. – P. 325-346.*
9. *Справочник по теории корабля: В 3-х т. Т.1: Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / Под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 768 с.*
10. *Numata E. Predicting Hydrodynamic Behavior of Small-Waterplane-Area Twin-Hull Ships / E. Numata // Marine Technology. – 1981. – Vol. 18. – № 1. – P. 69-75.*

11. Mulligan R. D. *Asset-Swath – A Computer based model for SWATH ships* / R.D. Mulligan, J.N. Edkins // *RINA Int. Conf. on SWATH Ships and Advanced Multi Hulled Vessels, 17–19 April 1985. – London, 1985.*
12. *Wave Resistance of Thin Ships and Catamarans: Report T8701 / Department of Applied Mathematics, The University of Adelaide; E.O. Tuck. – Adelaide, Australia, 1987. – 21 p.*
13. Tuck E.O. *Some Methods for Flows Past Blunt Slender Bodies* / E.O. Tuck // *Journal of Fluid Mechanics. – 1964. – № 18. – P. 619-635.*
14. Lunde J.K. *On the Linearized Theory of Wave Resistance for Displacement Ships in Steady and Accelerated Motion* / J.K. Lunde // *SNAME Transactions. – 1951. – Vol. 59. – P. 25-85.*
15. Lin W.C. *The Still-Water Resistance and Powering Characteristics of Small Waterplane-Area Twin-Hulled (SWATH) Ships* / W.C. Lin, W.G.Jr. Day // *AIAA/SNAME: Advanced Marine Vehicles Conf., 25-27 February 1974. – San Diego, 1974. – 15 p.*

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

УДК 629.123

С.Н. Старостин

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА
В КАВИТАЦИОННОМ СЕПАРАТОРЕ СУДОВЫХ ЛЬЯЛЬНЫХ ВОД**

Для гидродинамического метода сепарации многофазных потоков на основе процесса суперкавитации рассмотрена инженерная методика расчета рабочего процесса. Сформулирована технологическая схема изменения производительности судового сепаратора.

Ключевые слова: многофазный поток, сепарация, кавитатор.

Для гідродинамічного методу сепарації багатофазних потоків на основі процесу суперкавітації розглянута методика розрахунку робочого процесу. Сформульована технологічна схема зміни продуктивності суднового сепаратора.

Ключові слова: багатофазний потік, сепарація, кавитатор.

For the fluid dynamics method of multiphase flows separation on the base of supercavity process there was considered the methodic of working process calculation. For ship's bilge water separator the technological scheme for production variation was formulated.

Keywords: multiphase flow, separation, cavitator.

Для решения проблемы сепарации многофазной смеси нефтепродуктов с водой в условиях работы судна в ходе выполненных исследований был предложен метод сепарации на основе гидродинамического процесса суперкавитации. Разработанная конструкция судового сепаратора базировалась на создании кавитационной суперкаверны внутри спрофилированной рабочей камеры и постоянном отборе водяного пара из нее.

Кавитатор представляет собой плоскую трубу, которая в поперечном сечении имеет вид прямоугольника. На входе и выходе рабочей камеры кавитатора, установлены разделительные пластины, предназначенные для поддержания внешней границы возникающей суперкаверны в пространственно устойчивом состоянии.

Основной величиной, определяющей работу кавитационного канала является перепад давления на его внешних границах. Падение гидродинамического давления внутри двумерного канала, стенки которого представляют две параллельные плоскости в первом приближении можно рассчитывать по закону Вейсбаха-Дарси [1, 2]

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{H} \frac{\rho V^2}{2}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения;

L – длина канала, м;

H – высота канала, м; ρ – плотность потока, кг/м^3 ;

V – скорость потока, м/с.

При помощи уравнения (1) для нескольких значений плотности потока судовых льяльных вод была получена номограмма зависимости величины падения давления от скорости движения обрабатываемого потока. Она показана на рисунке 1. Полученные данные соответствуют турбулентному режиму движения, а расчет величины коэффициента гидравлического трения λ осуществлялся по формуле Блазиуса с учетом отсутствия влияния шероховатости стенок канала

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}. \quad (2)$$

При нахождении числа Рейнольдса Re в качестве характерного размера использовалась высота канала H . Кинематическая вязкость потока во всех расчетах принималась неизменной и равной $\nu = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

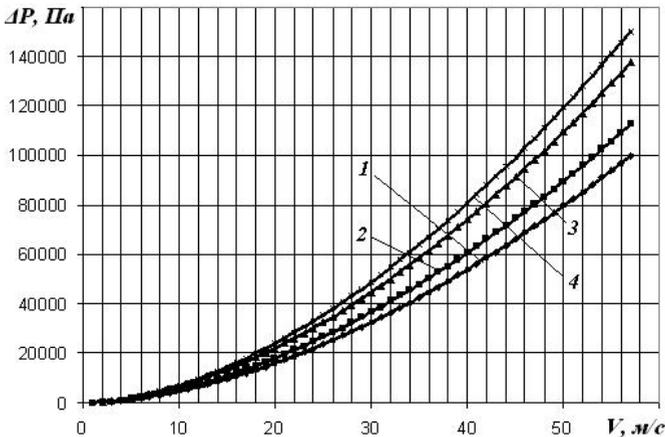


Рис. 1. Зависимость перепада давления в кавитаторе
от входной скорости потока

$1 - \rho = 800 \text{ кг/м}^3$; $2 - \rho = 900 \text{ кг/м}^3$; $3 - \rho = 1100 \text{ кг/м}^3$; $4 - \rho = 1200 \text{ кг/м}^3$

Анализ рисунка 1 позволяет сделать вывод о том, что рост плотности многофазного потока приводит к увеличению величины перепада давления внутри кавитатора. Другими словами, при прочих равных условиях процесс кавитации с ростом плотности будет начинаться при меньших значениях входной скорости обрабатываемого потока.

С эксплуатационной точки зрения особый интерес представляет расчет рабочего процесса внутри рабочей камеры сепаратора. Инженерная методика расчета рабочего процесса внутри кавитатора должна бази-

роваться на уравнении 1 и номограмме 1. Именно величина падения давления по длине рабочей камеры кавитатора, с учетом физических свойств обрабатываемого многофазного потока является определяющей при расчете геометрических размеров рабочей камеры сепарационной установки.

Основные положения расчета рабочего процесса внутри кавитатора в ходе исследований были сформулированы следующим образом:

1. Величина производительности сепаратора может оцениваться по значению массового расхода отбираемого из суперкаверны водяного пара. Масса пара, генерируемого внутри кавитационной полости, рассчитывается по формуле Герца-Кнудсена

$$G = \alpha P_{н.п.} \left(\frac{M}{2\pi R t} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где G – масса пара испаряющегося/конденсирующегося за единицу времени на единице поверхности;

α – коэффициент аккомодации (для воды $\alpha = 0,04-1,0$);

$P_{н.п.}$ – давление насыщенного водяного пара внутри каверны;

M – молекулярный вес водяного пара;

R – универсальная газовая постоянная;

t – абсолютная температура.

2. Время наполнения каверны водяным паром, при условии, что она имеет форму в виде сферы радиусом r можно определять как

$$\tau = \frac{r}{3\alpha} \left(\frac{2\pi M}{R t} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

3. Пространственное изменение сферического парового объема можно описывать уравнением вида

$$\left(\frac{dr}{dt} \right)^2 = \frac{2}{3} \frac{P_{\infty}}{\rho} \left(\frac{r_{max}^3}{r^3} - 1 \right). \quad (5)$$

4. В случае нарушения устойчивости каверны время схлопывания ее сферического объема может рассчитываться по формуле Релея

$$t = 0,915 r_{max} \sqrt{\frac{\rho}{P_{\infty}}}. \quad (6)$$

5. Условие баланса между давлением внутри каверны и давлением насыщенного водяного пара должно описываться неравенство вида

$$t_p > \frac{r_{max}}{3\alpha} \left(\frac{2\pi M}{R t} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

где t_p – время выхода каверны на стационарное состояние;

r_{max} – максимальный размер каверны при ее расширении.

Из (7) видно, что для температуры многофазного потока равной 20°C , равенство между давлением водяного пара внутри каверны и давлением насыщенного водяного пара будет иметь место при

$$\frac{r_{max}}{t_p} \leq 17,8 \text{ м/с.}$$

6. Оценка массы растворенных газов, возникающих внутри кавитационной каверны прямоугольной формы на первоначальной стадии возникновения каверны внутри сепаратора может осуществляться по выражению

$$G_2 = \frac{4 c_2}{3 K} b L^3, \quad (8)$$

где G_2 – масса газа внутри каверны в момент ее выхода на устойчивое состояние;

- c_2 – начальная концентрация газа в потоке судовых льяльных вод;
- K – постоянная Генри;
- b – толщина каверны;
- L – длина каверны.

При эксплуатации судового сепаратора льяльных вод их исходный состав может быть величиной переменной, что в конечном итоге выразится в изменении его производительности. Для устранения этого недостатка в ходе эксплуатации необходимо постоянно поддерживать неизменной величину массового расхода получаемого в ходе сепарации водяного пара. Для этого была разработана технологическая схема регулирования напорно-расходных характеристик сепаратора, которая показана на рисунке 2. Как видно из рисунка, принцип ее работы основывается на использовании автоматизированной схемы управления.

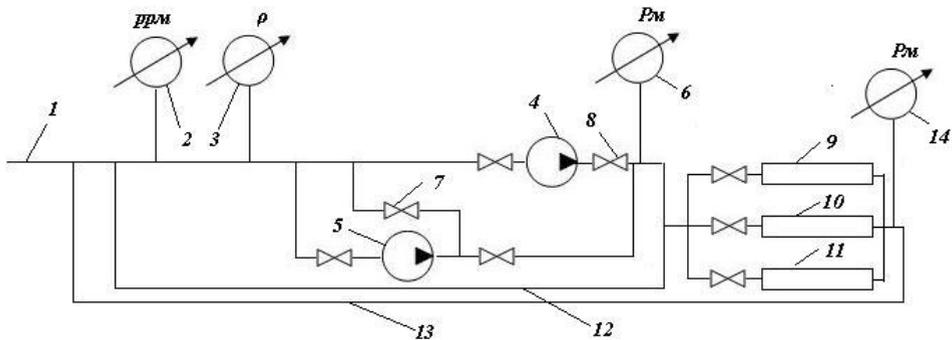


Рис. 2. Схема изменения производительности сепаратора:

- 1 – линия подачи судовых льяльных вод; 2 – измеритель концентрации;
- 3 – консистомер; 4, 5 – насос; 6, 14 – манометр; 7, 8 – клапан;
- 9, 10, 11 – кавитационный канал; 12 – внутренний контур обработки;
- 13 – внешний контур обработки

Основными средствами КИПа являются измеритель концентрации 2, консистомер 3 и манометр 6. Функционирование схемы подразумевает использование трех следующих вариантов работы сепаратора.

Первый вариант работы – нормативная эксплуатация, при которой обрабатываемый многофазный поток характеризуется рабочим диапазоном плотности и концентрации нефтесодержащих примесей.

Как видно на схеме, многофазный поток движется по линии 1. В том случае, когда плотность и/или состав судовых льяльных вод не выходят за пределы рабочего диапазона судового сепаратора, при помощи насоса 4 создается необходимое давление на входе в рабочую камеру кавитатора 9.

Характеристика сети, т.е. величина рабочего напора развиваемого насосом 4, находится по уравнению

$$H_m = \frac{P_{\text{вых}}}{\rho g} + \left(\zeta + \frac{0,3164 l}{\sqrt[4]{Re} d} \right) \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4} + \frac{0,3164 L V^2}{\sqrt[4]{Re} H 2g}, \quad (9)$$

где $P_{\text{вых}}$ – давление на выходе из кавитационного канала;

ζ – коэффициент местных потерь;

Re – число Рейнольдса;

l, d – длина и диаметр рабочих трубопроводов;

Q – расход судовых льяльных вод;

L, H – длина и ширина рабочего канала кавитатора;

V – скорость потока на входе в кавитатор.

Численное значение $P_{\text{вых}}$ в уравнении (9) соответствует показаниям манометра 14, который должен устанавливаться сразу на выходе из рабочей камеры кавитатора.

Второе слагаемое в уравнении соответствует потерям напора по длине кавитатора. Третье слагаемое соответствует гидравлическим потерям напора во всей гидравлической сети сепаратора (суммарные потери по длине и во всех местных сопротивлениях).

Второй вариант работы установки – плотность потока судовых льяльных вод и концентрация примесей в них по сравнению с рабочими значениями являются заниженными.

В этом случае необходимо увеличивать производительность сепарационной установки. Как видно на рисунке 2 в технологической схеме предусматривается подключение по схеме параллельного гидравлического соединения дополнительных рабочих кавитационных каналов.

Суммарная характеристика гидравлической сети сепаратора при таком режиме эксплуатации пересчитывается по правилам расчета параллельного соединения:

- общий расход в кавитаторах

$$Q = \sum_1^n Q_i \quad (10)$$

- потери напора на каждой отдельной ветви сети

$$\sum h_i = \dots = \sum h_n = \frac{P_{\text{вых}}}{\rho g} + \left(\Sigma \zeta + \frac{0,3164 l}{\sqrt[4]{Re} d} \right) \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4}. \quad (11)$$

В целом, конечное значение потребного напора всего сепаратора необходимо повышать на величину, соответствующую выражению (11). Другими словами, величина напора, развиваемого насосом 4 (см. рис. 2) должна увеличиваться на численное значение $\sum_1^n h_n$. При расчете суммарной характеристики сети значение n принимается равным числу подключаемых кавитаторов.

Третий вариант работы установки – плотность потока и концентрация примесей в нем превышают предустановленные нормативные значения.

При таком режиме эксплуатации рабочий насос установки 4 уже не будет обеспечивать необходимые расходно-напорные параметры гидравлической сети. В конечном итоге будет наблюдаться срыв характеристики. Такие условия работы сепаратора являются наиболее плохими поскольку резкое изменение величины напора или расхода в сепараторе в конечном итоге приведет к поломке мест соединения рабочих трубопроводов с рабочей камерой сепаратора и его разгерметизации. Единственным техническим решением такой проблемы может быть установка дополнительного нагнетателя. В этом случае в технологической схеме предусматривается установка насоса 5 по схеме последовательного подключения на линии обработки 12. Ввод насоса в эксплуатацию осуществляется за счет клапана 7.

Получаемое давление во всей гидравлической системе сепарационной установки на третьем режиме работы необходимо рассчитывать по правилам последовательного гидравлического соединения:

- суммарный расход в камерах сепарации

$$Q = Q_i; \quad (12)$$

- потери напора на каждой линии обработки судовых льяльных вод

$$\sum h = \sum_1^n h_i = n \left[\frac{P_{\text{вых}}}{\rho g} + \left(\Sigma \zeta + \frac{0,3164 l}{\sqrt[4]{Re} d} \right) \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4} \right] \quad (13)$$

Во всех трех случаях работы сепарационной установки предполагалось, что скоростной напор на входе и выходе из сепаратора является идентичным. В том случае, когда это равенство не соблюдается, т.е. когда скорость потока судовых льяльных вод в начале и конце рабочей камеры

различны необходимо учитывать скоростной напор. Для случая, когда обрабатываемый поток характеризуется высокими значениями чисел Рейнольдса (турбулентный режим движения) потребный напор установки определяется как

$$H_n = \frac{v_k^2 - v_n^2}{2g} + \sum h + \frac{P_k}{\rho g}. \quad (14)$$

При движении на относительно не высоких скоростях влияние многофазности потока судовых льяльных вод на пространственные и гидродинамические характеристики суперкавитационной каверны является очень важным. Обычно такая оценка производится с помощью величины скорости распространения звука, которая в обычной чистой воде приблизительно равна 1450 м/с. При наличии воздуха этот показатель резко уменьшается. Для изотермического движения потока с большой скоростью, когда воздух не успевает выделяться удельный объем многофазного потока можно записать в виде

$$V = \frac{1}{\rho_\Sigma} = (1 - M_g)V_{\text{воды}} + M_g V_g, \quad (15)$$

где M_g – масса воздуха в единице объема судовых льяльных вод;
 ρ_Σ – суммарная плотность многофазного потока;
 $V_{\text{воды}}$, V_g – удельный объем воды и воздуха в смеси.

С учетом того, что $V_{\text{воды}} = \text{const}$, а $V_g = \frac{k}{p}$ выражение (15) можно переписать как

$$\frac{1}{\rho_\Sigma} = \frac{(1 - M_g)}{\rho_{\text{воды}}} + \frac{M_g k}{p}, \quad (16)$$

где $k = RT$;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура;

p – давление.

Из (16) величина давления составляет

$$p = \frac{M_g \rho_\Sigma k}{1 - (1 - M_g) \frac{\rho_\Sigma}{\rho_{\text{воды}}}}. \quad (17)$$

С учетом того, что скорость звука в упругой среде, к которой можно относить также и судовые льяльные воды определяется как

$$c = \sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}} \quad (18)$$

в соответствии с производной

$$\frac{\partial p}{\partial \rho_{\Sigma}} = M_e k + \frac{2(1-M_e)}{\rho_{\text{воды}}} p + \frac{(1-M_e)^2}{M_e k} \left(\frac{p}{\rho_{\text{воды}}} \right)^2 \quad (19)$$

окончательное значение распространения скорости звука в судовых льяльных водах при сепарации можно записать в виде

$$c = \sqrt{M_e k} + \frac{(1-M_e)p}{\rho_{\text{воды}} \sqrt{M_e k}}. \quad (20)$$

При численных значениях:

масса воздуха в единице объема судовых льяльных вод – $M_e = 10^{-4}$;

абсолютная температура – $T = 293 \text{ K}$;

давление – $p = 405468 \text{ Па}$;

удельная газовая постоянная для сухого воздуха – $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кгК}}$, выраже-

ние (20) дает оценку распространения скорости звука в судовых льяльных водах равную $c = 139 \text{ м/с}$. Полученное значение в десять раз меньше аналогичного параметра для однофазного потока чистой воды. Число Маха при скорости сепарируемого потока судовых льяльных вод 30 м/с становится равным $M = V/c = 0,21$, что в свою очередь указывает на необходимость учета эффектов сжимаемости.

Выводы:

1. Основной величиной, определяющей работу кавитационного канала является перепад давления на его внешних границах. В общем случае он должен определяться с учетом скоростного напора.

2. При прочих равных условиях с ростом плотности обрабатываемого потока судовых льяльных вод процесс кавитации будет начинаться при меньших значениях входной скорости.

3. При эксплуатации судового сепаратора льяльных вод их исходный состав может быть величиной переменной, что в конечном итоге выразится в изменении его производительности. Для устранения этого недостатка разработана технологическая схема, позволяющая в ходе эксплуатации постоянно поддерживать неизменной величину массового расхода получаемого в ходе сепарации водяного пара.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Международная конвенция MARPOL 73/78.*
2. *Малахов А.В., Ткаченко И.В. Гидродинамика разделения многофазных смесей на основе воды // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: ХАИ, 2008. – № 4 (51) – С. 34-38.*
3. *Малахов А.В., Ткаченко И.В., Гугуев О.Е. Экспериментальное изучение гидродинамического процесса суперкавитации при сепарации судовых льяльных вод // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 27. – С. 110-116.*
4. *Савченко Ю.Н. Исследования суперкавитационных течений // Прикладна гідромеханіка. –2007. – Т. 9(81). – № 2-3.*
5. *Сиротюк М.Г. Влияние температуры и газосодержания жидкости на кавитационные процессы // Акустический журнал. – 1966. – Т.12. – Вип.1. – С. 87-92.*

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

УДК 621.45.034.3

А.Г. Гирин, С.В. Руденко

**МЕХАНИЗМ ДРОБЛЕНИЯ СТРУИ ТОПЛИВА В ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ
ФОРСУНКЕ ГРАДИЕНТНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТЬЮ ТЕЧЕНИЯ
В СОПРЯЖЕННЫХ ПОГРАНСЛОЯХ НА ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ**

На основе применения соотношений теории градиентной неустойчивости получены оценки для основных параметров, характеризующих процесс разрушения струи топлива в пневматической форсунке. Анализ показывает, что градиентная неустойчивость может быть реальным механизмом разрушения жидкой топливной струи.

Ключевые слова: пневматическая форсунка, градиентная неустойчивость, диспергирование струи.

На основі застосування співвідношень теорії градієнтної нестійкості отримано оцінки для головних параметрів, які характеризують процес руйнування струменя палива у пневматичній форсунці. Аналіз вказує на те, що градієнтна нестійкість може бути реальним механізмом руйнування рідкого паливного струменю.

Ключові слова: пневматична форсунка, градієнтна нестійкість, диспергування струменю.

The estimations of the main parameters which characterize the process of atomization of fuel jet in airblast atomizer are obtained on the base of regularities of gradient instability. The analysis shows, that gradient instability can be the real mechanism of atomization of liquid fuel jet.

Keywords: airblast atomizer, gradient instability, jet dispergation.

Введение. Основное преимущество пневматических форсунок – качество распыла, – обеспечивается созданием достаточно большой относительной скорости воздушного заряда и топливной струи [1]. Воздух, продольно обтекающий с большой скоростью струю, взаимодействует с нею посредством вязких касательных напряжений, в результате чего вблизи поверхности раздела сред образуются сопряженные пограничные слои, в которых скорость непрерывно изменяется от скорости газа V_{Γ} до скорости истечения струи $V_{\text{ст}}$. В результате такого тангенциального взаимодействия сред может происходить рост неустойчивых возмущений, приводящий к отрыву мельчайших капелек и их диспергированию в воздушный поток. Частицы уносятся в след струи и испаряются, образуя двухфазный полидисперсный факел распыла форсунки, в котором и происходит сгорание гомогенной смеси. В результате диспергирования жидкая

струя утоняется и на некотором расстоянии $l_{\text{ст}}$ она перестает существовать как целое.

Кинетика процессов образования гомогенной горючей смеси (испарение, смешение) зависит прежде всего от размеров и количества отрывающихся капелек т.к. именно эти параметры задают массовую скорость испарения, концентрацию частичек и паров топлива в распыле. Радиусы капелек r и функция распределения их количества по размерам $f_n(r)$ представляют поэтому первоочередной интерес при описании работы форсунок [1-3]. Определение этих величин и изучение их зависимости от определяющих параметров задачи производят практически исключительно экспериментальными методами, несмотря на то, что теоретических работ, в которых производились попытки найти механизм разрушения струи и отрыва капелек, довольно много. Это связано с объективными трудностями изучения диспергирования, вызванными быстрым протеканием процесса, большим количеством и малыми размерами капелек, наличием паров, скрывающих процесс от наблюдателя, сложной геометрией течения. Отмечалось, что такими механизмами могут быть неустойчивость Кельвина – Гельмгольца, Релея – Тейлора, сдир слоя жидкости вязкими касательными напряжениями, действующими со стороны потока, и деформация струи [2, 4]. Однако детального исследования влияния различных факторов на эти и другие механизмы проведено недостаточно, авторы ограничивались лишь аналогией с хорошо изученным дроблением капель в потоке [5] и струй, впрыскиваемых в направлении, поперечном к потоку [4, 6]. Несмотря на впечатляющие возможности математического моделирования [7], в настоящее время не существует единой теории, которая позволяла бы получить закономерности, управляющие отрывом капелек, и на этой основе найти функцию распределения по размерам и построить пространственную модель факела распыла с известными концентрациями капелек, детальным расчетом их ускорения и испарения в потоке.

В то же время для упомянутого выше родственного явления дробления капли скоростным потоком разработана модель, которая привела к возможности вывести дифференциальные уравнения абляции капли и количества сорванных капелек, которые совместно с уравнением ее движения составляют систему уравнений динамики разрушающейся капли [8-10]. Эта модель основана на предположении о том, что механизмом диспергирования является гидродинамическая неустойчивость градиентного течения в сопряженных погранслоях, образующихся на поверхности капли при ее обтекании [11]. На основе расчета по модели градиентной неустойчивости в работе [12] показана возможность вторичного дробления капель в камере сгорания вихрекамерного дизеля.

Цель работы. В настоящей работе показано, что градиентная неустойчивость может являться механизмом, лежащим в основе распыливания струй топлива пневматическими форсунками. Найдены оценки для значений размеров отрывающихся капелек, скорости массоуноса и длины струи, которые по порядку величины близки к известным эмпирическим оценкам.

Основной материал. Рассмотрим элементарную площадку на поверхности струи. Аппроксимируем реальный профиль скорости при обтекании поверхности струи кусочно-линейным, сохраняя его свойство непрерывности, важное для процесса развития неустойчивых возмущений [11, 13] (рис. 1). Этот полигональный профиль задается следующими параметрами: толщинами погранслоев в жидкости $\delta_{\text{ж}}(x)$ и в газе $\delta_{\text{г}}(x)$, скоростью воздушного потока $V_{\text{г}}(x)$ и скоростью на поверхности раздела $V_{\text{п}}(x)$, где x – координата вдоль оси струи. Физические свойства сред выражены значениями их плотностей и $\rho_{\text{г}}$, $\rho_{\text{ж}}$ динамических коэффициентов вязкости $\mu_{\text{г}}$, $\mu_{\text{ж}}$. На развитие возмущений на поверхности раздела $y = 0$ оказывает влияние сила поверхностного натяжения с коэффициентом σ . Примем в первом приближении, что внешний воздушный поток является однородным: $V_{\text{г}} = \text{const}$.

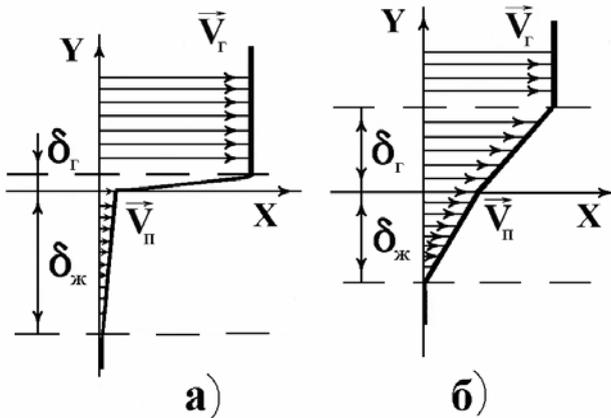


Рис. 1. Схема течения в сопряженных погранслоях на поверхности топливной струи

В [14, 15] показано, что при продольном обтекании осесимметричных тел вращения уравнения Прандтля течения в погранслое имеют тот же вид, что и в случае плоско-параллельного течения. Для рассматри-

ваемого нами от таковых на плоской поверхности и могут быть описаны решением задачи Блазиуса [14], в частности,

$$\delta_r(x) = D(v_r x / (V_r - V_n))^{0,5},$$

где $D = 5$. случая продольного обтекания цилиндрической струи топлива это означает, что распределения параметров течения в погранслое газа ничем не отличаются. Полагая, что число Рейнольдса течения в жидкости $Re_{ж} = V_n x / \nu_{ж}$ достаточно велико, для погранслоя в жидкости запишем аналогичное соотношение $\delta_{ж}(x) = D(v_{ж} x / V_n)^{0,5}$.

Выполним закон равенства вязких касательных напряжений на поверхности раздела газ – жидкость, который для кусочно-линейного профиля скорости рис. 1 запишется в виде

$$\mu_{ж} \frac{V_n}{\delta_{ж}} = \mu_r \frac{V_r - V_n}{\delta_r}. \quad (1)$$

Исключив из полученных соотношений D , получим соотношения, связывающие толщины погранслоев и скорости сред в них

$$\frac{\delta_{ж}(x)}{\delta_r(x)} = \alpha^{1-2\xi}, \quad \frac{V_n(x)}{V_r(x)} = \frac{\alpha^\xi}{1 + \alpha^\xi}, \quad (2)$$

где $\xi = 1 + 1/3 \log_\alpha \mu$ – параметр вязкого зацепления сред в погранслоях, определяющийся отношениями вязких $\mu = \mu_r / \mu_{ж}$ и инерционных $\alpha = \rho_r / \rho_{ж}$ свойств сред. Отношения $\delta_r / \delta_{ж}$. Из полученных соотношений воспользоваться результатами исследования невязкой неустойчивости непрерывного течения с кусочно-линейным профилем скорости [11, 16]. Этот анализ говорит о том, что с возрастанием параметра ξ отношение $\delta_{ж} / \delta_r$ увеличивается, а V_n / V_r – уменьшается. Поэтому при $\xi > 2/3$ профиль скорости ние возмущений определено классическим корнем неустойчивости Кельвина – Гельмгольца. Увеличение ξ соответствует уменьшению μ , т.е. увеличению вязкости жидкости при фиксированном отношении плотностей сред.

V_r / V_n не следует, что для анализа гидродинамики близок к профилю тангенциального разрыва скоростей (рис. 1, а), а поведеческой неустойчивости поверхности струи топлива, обдуваемой потоком воздуха в пневматической форсунке как с внешней, так и с внутренней подачей

теоплива, можно зависят от X , а только от физических свойств сред, в частности, сли $V_\Gamma = const$, то и $V_\Pi = const$.

Однако для многих жидкостей, к которым относятся и углеводородные топлива, выполняется противоположное условие: $\xi < 2/3$, например, в условиях работы форсунок для бензина Б-70 $\xi = 0,48$, для керосина Т-1 $\xi = 0,55$, для дизтоплива $\xi = 0,59$. Для таких значений ξ профиль скорости в сопряженных погранслоях является наполненным (рис. 1, б), а поведение неустойчивых возмущений определено корнем характеристического уравнения краевой задачи для возмущений [16]:

$$(z - \Delta)[(z - \Delta)(z + \Delta A) + \Delta(1 - A)] = (z - \Delta A)\Delta^3 We_\Pi^{-1}, \quad (3)$$

который существенно отличается от корня тангенциального разрыва (здесь $\Delta = 2\pi\delta_{ж} / \lambda$ – безразмерное волновое число возмущения, $A = (1 - \exp(-2\Delta)) / 2\Delta$). Закономерности поведения доминантного возмущения на линейной стадии полностью определены зависимостями безразмерного волнового числа $\Delta_m(We_\Pi)$ и инкремента нарастания амплитуды $Im(z_m(We_\Pi))$ от “поверхностного” числа Вебера $We_\Pi = \rho_{ж} V_\Pi^2 \delta_{ж} / \sigma$, который определен параметрами градиентного течения в погранслое жидкости. Графики зависимостей $\Delta_m(We_\Pi)$ и $Im(z_m(We_\Pi))$ представлены на рис. 2. Их характерными особенностями являются существование критического значения $We_{\Pi,кр.} = 0,004$, такого, что при $We_\Pi < We_{\Pi,кр.}$ течение устойчиво к малым возмущениям, а также области $We_\Pi > 0,03$ с почти постоянными значениями $\Delta_m = 1,22$, $Im(z_m) = 0,24$.

Перепишем условие существования неустойчивых возмущений на поверхности струи в виде

$$\begin{aligned} We_\Pi(x) &= \frac{\rho_\Gamma V_\Gamma^2 d_{ст}}{\sigma} \frac{V_\Pi^2}{V_\Gamma^2} \frac{\delta_{ж}(x)}{d_{ст}} = \\ &= \frac{\alpha We_\Gamma}{(1 + \alpha^\xi)^2} \frac{\delta_\Gamma(x)}{d_{ст}} = \frac{We_\Gamma}{\sqrt{Re_\Gamma}} \sqrt{\frac{x}{d_{ст}}} \frac{\alpha D}{(1 + \alpha^\xi)^{3/2}} > 0,004 \end{aligned} \quad (4)$$

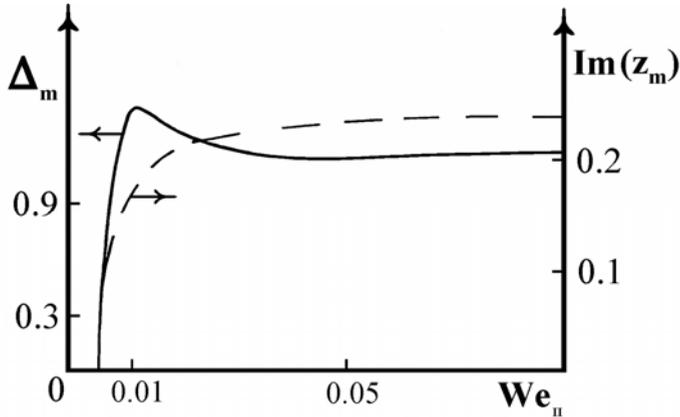


Рис. 2. Зависимости $\Delta_m(We_\pi)$, $Im(z_m(We_\pi))$ для доминантного возмущения градиентной неустойчивости

Величина $GN = We_\pi / Re_\pi^{0,5}$ служит критерием существования градиентной неустойчивости на поверхности жидкости [8, 16]. Случай равенства в (4) определяет координату $x_{кр}$ критического сечения, т.е. такого, которое разделяет поверхность струи на устойчивую $x < x_{кр}$ и неустойчивую $x > x_{кр}$ части. Для струи керосина в потоке воздуха при

$$d_{ст} = 1\text{мм}, V_\pi = 100\text{м/сек},$$

$$\rho_\pi = 5\text{кг/м}^3, \rho_ж = 784\text{кг/м}^3, \mu_\pi = 2,3 \cdot 10^{-5}\text{кг/м} \cdot \text{сек},$$

$$\mu_ж = 1,29 \cdot 10^{-3}\text{кг/м} \cdot \text{сек}$$

получим $Re_\pi = 2,1 \cdot 10^4$, $We_\pi = 1,8 \cdot 10^3$ и $x_{кр} = 7 \cdot 10^{-3} d_{ст}$. Это означает, что в таком течении критическое сечение находится непосредственно за срезом сопла форсунки и неустойчивость поверхности струи развивается в этом течении интенсивно. Уже на расстоянии в один диаметр струи, $x = d_{ст}$, значение поверхностного числа Вебера значительно превосходит критическое $We_\pi(d_{ст}) = 0,4$. При менее скоростном истечении воздуха критическое сечение отходит от среза сопла, но все равно находится вблизи него.

На неустойчивой части поверхности возможно проявление механизма градиентной неустойчивости в виде диспергирования жидких частичек в поток. Диспергированные капельки уносятся потоком в дальнюю часть струи, испаряются и образуют там гомогенную горючую смесь.

Предположим, что разрушение струи осуществляется механизмом градиентной неустойчивости. Тогда естественно считать, что радиус срывающихся капелек пропорционален длине волны доминантного неустойчивого возмущения: $r = k_r \lambda_m = k_r 2\pi \delta_{ж} / \Delta_m$, а период их отрыва – характерному времени роста амплитуды доминантного возмущения в e раз: $t_{отр} = k_t t_{инд} = k_t \text{Im}^{-1}(z_m) \delta_{ж} / V_{п}$.

Основные результаты. Получим оценки для средних значений параметров каплеобразования при разрушении струи на основе закономерностей изменения параметров доминантного неустойчивого возмущения рис. 2. Из анализа соотношения (4) следует, что величина $We_{п}(x)$ растет довольно быстро вдоль струи, поэтому можно ожидать, что уже на небольшом расстоянии $x_{уст}$ от среза сопла она достигает значения $We_{п} = 0,03$, так что на основной части струи при $x_{уст} < x$ можно считать $We_{п} > 0,03$. Тогда, используя значения $\Delta_m = 1,22$, $\text{Im}(z_m) = 0,24$ и (2), получим

$$\frac{r}{d_{ст}} = \frac{2\pi\alpha^{1-2\xi}\delta_r(x)}{1,22d_{ст}} = \frac{2\pi D\alpha^{1-2\xi}}{1,22d_{ст}} \sqrt{\frac{v_r x}{V_r}} = \frac{2\pi D\alpha^{1-2\xi}}{1,22\sqrt{Re_r}} \sqrt{\frac{x}{d_{ст}}}, \quad (5)$$

$$t_{отр} = \frac{(1+\alpha^\xi)\alpha^{1-2\xi}\delta_r(x)}{0,24V_r\alpha^\xi} = \frac{D(1+\alpha^\xi)\alpha^{1-2\xi}}{0,24V_r\alpha^\xi} \sqrt{\frac{v_r x}{V_r}} =$$

$$= \frac{D(1+\alpha^\xi)\alpha^{1-2\xi}}{0,24\alpha^\xi\sqrt{Re_r}} \sqrt{\frac{x}{d_{ст}}} \frac{d_{ст}}{V_r} \quad (6)$$

Эти соотношения показывают, что основные кинетические параметры диспергирования переменны по длине струи: при возрастании расстояния от среза сопла размер частичек и период их отрыва растут пропорционально \sqrt{x} ; первое создает распределение срываемых оценки для основных параметров, характеризующих диспергирование капелек по размерам.

Соотношения (5), (6) позволяют получить при разрушении струи в пневматической форсунке: среднего диаметра капелек распыла $d = 2r$, периода их отрыва $t_{отр}$ и скорости массоуноса $\dot{m}_{дис} = \rho_{ж} v_{эл} / t_{бр}$ ($t_{бр}$ – время полного разрушения жидкого элемента объемом $U_{эл}$). Рассмотрим жидкий (лагранжев) элемент струи объемом $v_{эл} = \pi\lambda_m d_{ст}^2 / 4$, длина которого вдоль струи равна длине волны доминантного возмущения. Полагая

$d_{ст} = 0,75 \text{ мм}$, $V_{г} = 100 \text{ м/сек}$, $D = 5$, имеем для системы воздух – керосин: $Re_{г} = 1,4 \cdot 10^4$, $We_{г} = 1,4 \cdot 10^3$, $GN = 12,1$. Выбирая в качестве средних для оценки значения кинетических параметров на середине длины струи $x = l_{ст} / 2$, получим значения, приведенные в таблице, где $N_{отр}$ – количество раз срабатывания неустойчивого возмущения на жидком элементе струи, приводящего к отрывам капелек. При скорости истечения струи $V_{ст} = 2 \text{ м/сек}$ длина участка разрушения струи составит $\approx (0,64 - 1,20) \text{ мм}$. Полученные оценки для d и $\dot{m}_{дис}$ согласуются по порядку величины с известными [17].

Таблица

Оценки основных параметров диспергирования

	$d, \mu\text{м}$	$t_{отр}, \text{сек.}$	$N_{отр}$	$t_{бр}, \text{сек.}$	$\dot{m}_{дис}, \text{кг/сек.}$
Бензин	35,3	$9,5 \cdot 10^{-6}$	33,8	$320 \cdot 10^{-6}$	$128,5 \cdot 10^{-6}$
Керосин	86,7	$35,0 \cdot 10^{-6}$	13,8	$481 \cdot 10^{-6}$	$191,4 \cdot 10^{-6}$
Дизтопливо	139,2	$68,8 \cdot 10^{-6}$	8,58	$590 \cdot 10^{-6}$	$242,4 \cdot 10^{-6}$

Выводы. Проведенный анализ и полученные оценки свидетельствуют о том, что градиентная неустойчивость может быть реальным механизмом разрушения жидкой топливной струи в пневматических форсунках. Детальный расчет факела форсунки может быть выполнен по схеме, подобной той, которая изложена в [18, 19] для факела распыла капли, разрушающейся в потоке газа.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД / А. Лефевр. – М.: Мир, 1986. – 566 с.
2. Arai M. Physics behind diesel sprays // 12th ICLASS-2012. – Heidelberg, Germany, 2-6 Sept. 2012 // Book of Abstracts. – P.
3. Пажжи Д.Г. Основы техники распыливания жидкостей / Д.Г. Пажжи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1984. – 256 с.
4. Рудяк М.Е. Особенности разрушения струй маловязкой жидкости в дозвуковом сносящем потоке газа / М.Е. Рудяк // ИФЖ. – 1991. – Т. 60. – № 1. – С. 24-32.
5. Гельфанд Б.Е. Современное состояние и задачи исследований детонации в системе капли жидкости – газ // Химическая физика процессов горения и взрыва. Детонация. – Черноголовка: ИХФ АН СССР. – 1977. С. 28-39.

6. Less D.M. *Non-stationary processes at normal liquid injection into high-speed gas flow* / D.M. Less, J. A. Schetz // *AIAA Journ.* – 1986. – Vol. 24, No. 12. – P. 1979-1986.
7. Herrmann M. *On using detailed simulations to study primary atomization* // 12th ICLASS-2012. – Heidelberg, Germany, 2-6 Sept. 2012. – *Book of abstracts.* – P. 67.
8. Гирин А.Г. *Уравнения кинетики дробления капли в скоростном потоке газа* / А.Г. Гирин. // *ИФЖ.* – 2011. – Т. 84, № 2. – С. 248-254.
9. Гирин А.Г. *Распределение диспергированных капелек при дроблении капли в скоростном потоке газа* / А.Г. Гирин. // *ИФЖ.* – 2011. – Т. 84. – № 4. – С. 805-812.
10. Girin A.G. *To the theory of drop shattering in a speedy gas flows* // 12th ICLASS-2012. – Heidelberg, Germany, 2-6 Sept. 2012. – *Book of Abstracts.* – P. 132.
11. Асланов С.К. *Об основных факторах гидродинамической неустойчивости при моделировании процесса диспергирования в двухфазной детонации* / С.К. Асланов, А.Г. Гирин. // *Докл. АН Укр.ССР.* – 1981. Сер А, физ.-мат. и техн. н. № 12. – С. 25-28.
12. Гирин А.Г., Лейко Т.А. *Дробление капель распыленного топлива в камерах сгорания дизелей с интенсивным движением воздушного заряда* // *Физика аэродисперсных систем. Науч. сб.* – Одесса: Астропринт. – 1996. – Вып. 35. – С. 10-14.
13. Бородин В.А. *Устойчивость движения плоской границы раздела двух жидкостей* / В.А. Бородин, В.И. Ягодкин. // *ПМТФ.* – 1967. – № 1. – С. 71-76.
14. Лойцянский Л.Г. *Механика жидкости и газа* / Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1978. – 736 с.
15. Степанов Е.И. *Об интегрировании уравнений ламинарного погранслоя для движения с осевой симметрией* / Е.И. Степанов // *ПММ.* – 1947. – Т. 11, вып. 1. – С. 137-142.
16. Гирин А.Г. *Гидродинамическая неустойчивость и режимы дробления капель* / А.Г. Гирин // *ИФЖ.* – 1985. – Т. 48. – № 5. – С. 771-776.
17. Рицк Н. К. *Влияние конструктивных особенностей форсунки на средний размер капель* / Н.К. Рицк, А.Х. Лефевр. // *Аэрокосмическая техника.* – 1984. – Т. 2. – № 4. – С. 83-87.
18. Girin A.G. *Wake of shattering fuel drop* / A.G. Girin. // *Combustion science and technology.* – 2012. – Vol. 184. – №. 10-11. – P. 1412-1426.
19. Girin A.G. *Ballistics of evaporating spray in a wake of a shattering drop* // 12th ICLASS-2012. – Heidelberg, Germany, 2-6 Sept. 2012. – *Book of Abstracts.* – P. 99.

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

УДК 629.5.01

Г.В. Егоров, А.Г. Егоров

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ И РИСКА ЭКСПЛУАТАЦИИ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РЕЧНЫХ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ**

Виконано дослідження надійності вітчизняних річних малих і круїзних пасажирських суден (ПС). Умови експлуатації ПС значно спокійніші за транспортні судна. Виконаний аналіз аварій з ПС, які відбулися з 1983 року по 2011 рік. Усього було оброблено 213 аварійних випадків. Виявлені основні небезпеки, які привели до аварій або катастроф. Просліджується стійкий зріст аварійності для суден віком більше, ніж 17 років із піком аварій для суден віком 24-27 років. Дані технічні рекомендації з позиції безпеки судноплавства і екологічної безпеки при проектуванні пасажирських суден. Розв'язок проблеми забезпечення достатньої надійності й безпеки ПС при збереженні прийняттого рівня економічної ефективності можливий тільки при забезпеченні системного підходу на всіх стадіях життєвого циклу цих суден, включаючи етапи класифікації й вимог Правил, проектування, будівництва, експлуатації, освідчувань, ремонту й модернізації.

Ключові слова: судна внутрішнього плавання, річні малі і круїзні пасажирські судна, аналіз ризику, небезпеки, збиток, проектування, технічні рекомендації, надійність, безпека.

Выполнено исследование надежности отечественных речных малых и круизных пассажирских судов (ПС). Условия эксплуатации ПС гораздо более спокойные, чем транспортных судов. Выполнен анализ происшедших с 1983 года по 2011 год аварий с ПС. Всего было обработано 213 аварийных случаев. Выявлены основные опасности, приведшие как к авариям, так и к катастрофам. Наблюдается устойчивый рост аварийности для судов старше 17 лет с пиком аварий для судов возрастом 24-27 лет. Даны технические рекомендации с позиции безопасности судоходства и экологической безопасности при проектировании пассажирских судов. Решение проблемы обеспечения достаточной надежности и безопасности ПС при сохранении приемлемого уровня экономической эффективности возможно только при обеспечении системного подхода на всех стадиях жизненного цикла этих судов, включая этапы классификации и требований Правил, проектирования, строительства, эксплуатации, освидетельствований, ремонта и модернизации.

Ключевые слова: суда внутреннего плавания, речные малые и круизные пассажирские суда, анализ риска, опасности, ущерб, проектирование, технические рекомендации, надежность, безопасность.

© Егоров Г.В., Егоров А.Г., 2013

Research of reliability of native river small and cruise passenger vessels (PV) is executed. Conditions of PV operation are much smoother than cargo vessels. The analysis of failures with hulls of PV occurred since 1983 till 2011 is executed. 213 emergency cases of vessels were analyzed. Basic dangers, resulting both in failures and casualties, are exposed. Steady growth of breakdown is observed for vessels older than 17 years with peak of accidents at 24-27 aged vessels. Technical recommendations from the position of navigation and ecological safety at passenger vessels design stage are given. Decision of problem of providing of sufficient reliability and safety of PV with holding of acceptable level of economic efficiency is possible only while system approach providing at all stages of life cycle of these vessels, including classification, Rules requirements, design, building, operation, surveys, repair and modernization.

Keywords: *inland navigation vessels, river small and cruise passenger vessels, risk analysis, dangers, harm, designing, technical recommendations, reliability, safety.*

Постановка проблемы и ее актуальность. Страшная трагедия с речным пассажирским судном «Булгария» в очередной раз (после ноября 2007 года) привлекла внимание широкой общественности к проблеме аварийности речных пассажирских судов (ПС). Принципиально важным при исследовании подобных ситуаций является выявление причин и принятие системных мер по недопущению их повтора в любой форме. В частности, следует проверить известный тезис о том, что эксплуатация более старых ПС сопровождается большим уровнем риска, чем более молодых.

Кроме того, следует учесть особенности эксплуатации именно ПС, которые работают в отсутствии одного из самых негативных факторов, обычных для транспортных судов, как влияние порядка погрузки-выгрузки, распределения груза и воздействия грузовых устройств.

Изучение причин аварий всегда было важнейшим этапом для совершенствования норм и правил создания любых новых технических объектов [18, 20], в том числе морских [17].

В настоящей статье под речными ПС понимаются суда, эксплуатирующиеся во внутренних водных бассейнах разрядов «Л», «Р», «О», «М» РРР [15], имеющие запись в классе судна «пассажирское».

Интересно отметить, что данные об авариях и аварийных происшествиях с отечественными речными ПС практически не публиковались и не подвергались систематическому анализу.

В 2000 году в статье [4] впервые был дан анализ риска для транспортных судов ограниченного района плавания на основании данных с 1993 по 2000 годы (в 2002 году материал был дополнен в статье [6]). В статьях [4, 6, 9] использовалась формализованная классификация последствий на морском и водном транспорте, предложенная работе [3] на осно-

ве «Международного кодекса проведения расследований аварий и инцидентов на море», 1997 года.

В 2002 году в публикациях РРР [13, 14] и в 2005 году в публикации РС [16] были рассмотрены аварии транспортных судов с классом РРР и РС соответственно.

В [16] был сделан вывод, что существенного роста аварийности с судами с классом РС не произошло, несмотря на рост среднего возраста судов. При этом в публикации [19] по данным DNV, наоборот, был отмечен более высокий уровень аварийности для более старых транспортных судов. В более ранней работе [18] на основании статистики потерь 1984-1994 года пик катастроф приходился также на суда с возрастом 19-24 года, причем тенденция была одинакова для всех типов судов.

Целью настоящей статьи является анализ надежности и происшедших с 1983 года по 2011 год аварий с речными ПС. При этом рассмотрены происшествия, которые связаны с корпусом и устройствами, с пожарами и взрывами и механизмами.

Изложение основного материала исследований. Исследование выполнялось в составе научно-исследовательской работы по созданию облика перспективных речных малых пассажирских судов для местных линий и круизных пассажирских судов нового поколения для крупных рек и водохранилищ в рамках федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники на 2009-2016 годы».

В ходе выполнения НИР авторами настоящей статьи были сделаны следующие выводы в отношении надежности ПС:

- условия эксплуатации ПС гораздо более спокойные, чем транспортных;
- как правило, постоянные экипажи с более квалифицированным составом;
- суда имеют меньшие осадки, и соответственно, более редкий контакт с грунтом;
- мало меняющаяся нагрузка судов;
- ПС начинают навигацию позже и заканчивают раньше, что практически исключает риск ледовых повреждений;
- борта защищены кринолинами, что, несмотря на большую частоту швартовок и шлюзований, уменьшает повреждаемость бортовых конструкций;
- нет агрессивных грузов и нет рейферных грузовых операций.

Соответственно, скорости коррозионного изнашивания связей ПС в 2-4 раза меньше скоростей изнашивания связей транспортных судов. Исследования Морского Инженерного Бюро показали, что, например, на судах проекта 301 износы корпусных конструкций за 30 лет составили: наружная обшивка днища – 2,4%; наружная обшивка борта – 2,1%; настил главной палубы – 6,3%; настил второго дна – 2,1%; поперечные переборки – 2,8%; днищевой набор – 2,1%; бортовой набор – 2,4%; палубный набор – 2,3%. Повышенные скорости изнашивания связей наблюдаются в

конструкциях палуб, особенно в районе бытовых помещений, где под сланами создается благоприятная для коррозии среда, и в цистернах сточных вод.

Согласно [3] по степени повреждений, нанесенных людям, окружающей среде и техническим средствам, указанные ситуации условно классифицированы 5 уровнями последствий (см. табл. 1). Формальная оценка последствий обозначается величиной C , определяемой по 5-балльной шкале.

Всего удалось получить сведения о 213 авариях и инцидентах с малыми и круизными ПС, находившимися под надзором РРР. Обращает на себя внимание тот факт, что более или менее открыты сведения о катастрофах ($C = 5$).

Таблица 1

Классификация последствий аварий и аварийных ситуаций с ПС

Уровень последствий C	Количество рассмотренных происшествий и катастроф	Степень повреждения		
		Воздействие на людей	Воздействие на окружающую среду	Повреждение технических средств
1 – Light Incident	97	Нет	Нет	Ничтожное
2 – Incident	45	Легкое телесное повреждение	Ничтожное	Незначительное
3 – Casualty	29	Серьезное, необратимое телесное повреждение	Существенное	Серьезное
4 – Serious Casualty	32	Потеря человеческой жизни	Критическое	Значительное
5 – Very Serious Casualty	10	Много человеческих жертв	Катастрофическое	Гибель судна

Случаи с промежуточными уровнями последствий, которые могли подорвать репутацию судовладельцев, последними, как правило, не обнародовались. Однако после аварии «Булгарии» подобный подход к исследованию проблем безопасности судоходства не может быть признан правильным, так как необходимо достоверно знать проблемы и обеспечить их решение за счет принятия контролируемых администрацией Флага и класса мер по снижению риска.

В табл. 2 дана предложенная в [4] и расширенная в [1] краткая классификация основных групп идентифицированных опасностей, имеющих значение для исследования надежности и безопасности ПС.

Таблиця 2

Идентифицированные опасности

№	Опасности	F_{AB} , %	$F_{КАТ}$, %
1	Опасности, связанные с техническим состоянием корпуса, машин, механизмов и систем судна	98,1	95,2
1.1	Несоответствие технологий, уровня качества и допускаемых дефектов речного судостроения требованиям для морской эксплуатации	2,8	7,1
1.2	Водотечность наружной обшивки, настила второго дна, обшивки второго борта, обшивки поперечных переборок, стенок цистерн	58,7	85,7
1.3	Нарушение технологии при выполнении построечных, ремонтных и модернизационных работ	56,8	52,4
1.4	Пропуски дефектов при дефектации корпуса, машин, механизмов и устройств	82,6	64,3
1.5	Ошибки проектировщиков	8,5	2,4
1.6	Неисправности и выход из строя машин и механизмов	46,9	9,5
1.7	Большие объемы замен корпусных конструкций при ремонте	21,1	19,0
1.8	Не выполнение требований правил в отношении люковых крышек, комингсов и конструкций воздушных труб, вентиляторов, непроницаемых дверей	2,8	14,3
1.9	Неисправности и выход из строя якорного устройства	1,9	-
1.10	Неисправности и выход из строя судовых системах	11,3	9,5
1.11	Неисправности и выход из строя рулевого устройства	11,3	2,4
1.12	Неисправности и выход из строя грузового устройства	-	-
2	Опасности, связанные с нарушениями технологии перевозки пассажиров/груза	8,5	31,0
2.1	Перевозка металлолома	2,8	11,9
2.2	Перевозка взрывоопасных грузов	0,9	-
2.3	Грузовые операции с применением грейферов, тяжелых погрузчиков и бульдозеров	3,8	16,7

Продолжение табл.2

2.4	Нарушение порядка погрузки/выгрузки в порту, «Инструкции по загрузке», «Наставления по креплению грузов», «Информации об остойчивости»	5,6	19,0
3	Опасности, связанные с действиями судовладельца, береговых операторов и экипажа	98,1	97,6
3.1	Балластировка, не соответствующая указаниями «Инструкции по загрузке и балластировке»	-	-
3.2	Сознательное нарушение установленных ограничений по району, сезону плавания	3,8	4,8
3.3	Сознательные и кратковременные посадки на мель, выморозка	2,8	4,8
3.4	Навигационные ошибки	13,1	33,3
3.5	Контакт с льдом, контакт со стенками причалов и шлюзов, столкновение с другим судном	21,1	50,0
3.6	Халатное отношение служб порта, бассейнового управления, СРЗ	41,3	33,3
3.7	Ошибка прогноза	11,7	31,0
3.8	Перегруз судна	2,8	14,3
3.9	Смена судовладельца	15,5	28,6
3.10	Сознательная эксплуатация при негодном т/с	3,3	16,7
3.11	Нарушение условий перегона, буксировки	0,5	2,4
3.12	Нарушение безопасного режима отстоя судов	15,5	16,7
3.13	Халатность экипажа, несоблюдение им ЭТД, ПТЭ	80,8	85,7

Обращает на себя внимание тот факт, что ряд опасностей имеет $F_{КАТ} > F_{АВ}$, что свидетельствует об их значительной роли в увеличении степени тяжести последствий событий.

Среди них водотечность (явная) непроницаемых конструкций, наличие незакрытых отверстий в наружном контуре (опасность 1.2) и близкая к ней по сути опасность 1.8 – невыполнение требований Правил к закрытиям (т.е. потенциальная водотечность), опасность 3.7 – ошибка прогноза. Отмечается существенная доля в событиях, имеющих последствия $C = 4$ и $C = 5$, человеческого фактора в виде ошибок при проведении ремонта (опасности 1.3, 3.6).

Особую роль играет смена судовладельца (опасность 3.9), которая сопутствует катастрофам. Можно сказать, что именно переход ПС из классических структур пароходств в небольшие частные компании инициирует значительную часть других опасностей (см., например, нарушение ограничений «Информации об остойчивости и непотопляемости» – опасность 2.4, ошибки в навигации – опасность 3.4, контакты и столкновения – опасность 3.5, сознательная эксплуатация при негодном техниче-

ском состоянии – опасность 3.10, перегруз судна – опасность 3.8, халатность экипажа и несоблюдение ЭТД и ПТЭ – опасность 3.13).

В сравнении с грузовыми судами пассажирские суда, как правило, имеют заметно меньше проблем с корпусными конструкциями. Поэтому значительную часть аварийных происшествий связаны с выходом из строя машин и механизмов, устройств, систем. Отсюда особая роль опасностей 1.6 – неисправности машин и механизмов, 1.10 – неисправности судовых систем, и опасности 3.10 – сознательная эксплуатация при негодном техническом состоянии.

Обобщенные данные табл. 2 сформированы на основании обработки аварий и аварийных происшествий (результаты анализа наиболее тяжелых аварий приведены в табл. 3).

Все из рассмотренных 213 случаев были проанализированы на основе тех данных, которые имелись в распоряжении авторов публикации, а также с помощью математического моделирования разных сценариев развития событий путем построения деревьев отказов и деревьев событий. Полученные в статье выводы не всегда совпадают с официальными заключениями и носят сугубо исследовательский характер.

В табл. 3 по каждой опасности указан по 3-бальной шкале коэффициент относительной ответственности (весомости) в рассматриваемом случае. По результатам исследования методами теории риска каждого происшествия назначались: балл «3» – опасность прямого действия, непосредственно приведшая к аварии; балл «2» – опасность косвенного действия, вызвавшая к жизни опасности с баллом «3»; балл «1» – фоновые опасности, оказавшие неблагоприятное воздействие на ситуацию.

Для каждой опасности был определен обобщенный уровень риска ПС R , который определялся как произведение вероятности возникновения опасности F на последствия воздействия указанной опасности на объект C . Условная вероятность F определялась по 5-бальной шкале («1» – частота возникновения в 0-20 % аварийных случаях, «2» – 21-40 %, «3» – 41-60 %, «4» – 61-80 %, «5» – 81-100 %).

В табл. 4 представлена формальная оценка риска, полученная в двух вариантах: на основе всех рассмотренных аварийных ситуаций и для катастроф.

На основе данных табл. 4 были построены матрицы риска ПС: на рис. 1 – для всех аварийных случаев и происшествий, исследуемых в статье и на рис. 2 – для катастроф.

Анализ рис. 1 и рис. 2 позволяет сделать следующие выводы о ранжировании опасностей:

- наибольшую опасность для ПС представляют опасность 1.2 (водотечность наружной обшивки, наличие открытых отверстий в наружном контуре судна) и опасность 3.13 (халатность экипажа, несоблюдение ЭТД и ПТЭ); существующий уровень риска по данным опасностям относится к «недопустимому»;

Таблиця 3

Идентифікація і наслідства опасностей, спосібствовавших авариям и катастрофам ПС

№ п/п	Проект. название, год постройки, возраст на момент аварии, дата аварии, [h _{13%}]	Вид опасности (номера см. в тексте статьи) и относительная ответственность																Описание последствий																
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	1.10	1.11	1.12	21	22	23	24		31	32	33	34	35	36	37	38	39	3.10	3.11	3.12	3.13			
3	Пр. 544, М-183, 1955, 49 лет, 20.09.2004, [h _{1%}] = 1,2 м		3	1		1					1																							Затонул. Нарушение ЭГД с образованием пробойны. (5).
5	Пр. 544, М-43, 1954, 38 лет, 11.06.1992, [h _{1%}] = 0,6 м	1	2	1		1																	3	2	1							Затонул от удара в борт другим судном в загоде. (4).		
7	Пр. 544, М-260, 1957, 31 год, 17.11.1988, [h _{1%}] = 1,2 м	3	2	2		1																				2					3	Затоплены МО и корма. Нарушение ЭГД, эксплуатация водотечного судна. (4).		

Продолжение табл. 3

100	Пр. 81108, 3708, 1990, 12 лет, 27.11.2002, [h _{19%}] = 2 м	1																		1	3	3			2	Перелом корпуса, по- садка на мель. Нарушение ППР. (4).
105	Пр. 944, СУ-11, 1972, 32 года, 21.07.2004, [h _{19%}] = 1,2 м	1	2	2																1	3	2			2	Перелом корпуса. Нарушение ИПВ. (4).
107	Пр. 944А, МП- 126, 1984, 5 лет, 02.10.1989, [h _{19%}] = 1,2 м	2	2	1	2															1	1	2	3		2	Перелом корпуса. Нарушение ППЭ. (4).
113	Пр. КС-63/К, Ма- ленький Георгий, 1987, 17 лет, 25.06.2004, [h _{3%}] = 3,5 м	2	1	2																1	1			3	2	Перелом корпуса. Нарушение ППЭ. (4).

Продолжение табл. 3

116	Пр. М-105, Сун-тар, 1962, 23 года, 17.12.1985, [h ₁₉₈₅] = 1,2 м	1	2																		2	3	2	Перелом корпуса. Неудовлетворительные условия отстоя. (4).	
124	Пр. СП-40, СПК-52, 1975, 11 лет, 19.12.1986, [h ₁₉₈₆] = 1,2 м	2	2	2						1	1										3	2	Перелом корпуса. Нарушение ЭГД. (4).		
125	Пр. СП-40, СП-43, 1971, 14 лет, 14.12.1985, [h ₁₉₈₅] = 1,2 м	2	2	2						1	1										3	2	Перелом корпуса. Нарушение ЭГД. (4).		
126	Пр. Т-101Б, Пу-тейский-1, 1967, 21 год, 16.08.1988, [h ₁₉₈₈] = 1,2 м	1	1	2																	2	2	3	2	Перелом корпуса. Неудовлетворительные условия отстоя. (4).

Таблиця 4

Формальная оценка риска ПС

Опасность	Все случаи			Катастрофы		
	<i>F</i>	<i>C</i>	<i>R</i>	<i>F</i>	<i>C</i>	<i>R</i>
1.1	0,14	1,67	0,23	0,36	2,22	0,79
1.2	2,93	1,47	4,32	4,29	2,88	12,34
1.3	2,84	1,01	2,87	2,62	1,82	4,76
1.4	4,13	0,89	3,69	3,21	1,99	6,39
1.5	0,42	0,78	0,33	0,12	1,33	0,16
1.6	2,35	1,09	2,56	0,48	2,92	1,39
1.7	1,06	0,67	0,70	0,95	1,46	1,39
1.8	0,14	2,72	0,38	0,71	2,72	1,94
1.9	0,09	1,08	0,10	-	-	-
1.10	0,56	0,85	0,48	0,48	2,50	1,19
1.11	0,56	1,18	0,67	0,12	1,67	0,20
1.12	-	-	-	-	-	-
2.1	0,14	1,28	0,18	0,60	1,33	0,79
2.2	0,05	0,83	0,04	-	-	-
2.3	0,19	1,29	0,24	0,83	1,33	1,11
2.4	0,28	3,36	0,95	0,95	4,29	4,09
3.1	-	-	-	-	-	-
3.2	0,19	1,71	0,32	0,24	2,83	0,67
3.3	0,14	2,50	0,35	0,24	4,00	0,95
3.4	0,66	2,26	1,49	1,67	3,05	5,08
3.5	1,06	2,67	2,82	2,50	3,89	9,72
3.6	2,07	1,28	2,64	1,67	2,76	4,60
3.7	0,59	1,65	0,97	1,55	2,03	3,13
3.8	0,14	4,39	0,62	0,71	4,39	3,13
3.9	0,77	1,34	1,04	1,43	2,14	3,06
3.10	0,16	3,81	0,63	0,83	3,81	3,17
3.11	0,02	2,67	0,06	0,12	2,67	0,32
3.12	0,77	2,58	2,00	0,83	3,81	3,17
3.13	4,04	1,63	6,58	4,29	3,05	13,06

- опасности 3.4 (навигационные ошибки), 3.5 (контакт со льдом, контакт со стенками причалов и шлюзов, столкновение с другим судном), 3.6 (халатное отношение служб порта, бассейнового управления, СРЗ) имеют достаточно высокий формальный уровень риска как по частоте, так и по последствиям, который находится в т.н. зоне «ALARP», т.е. в пределах минимально допустимого практически уровня риска;

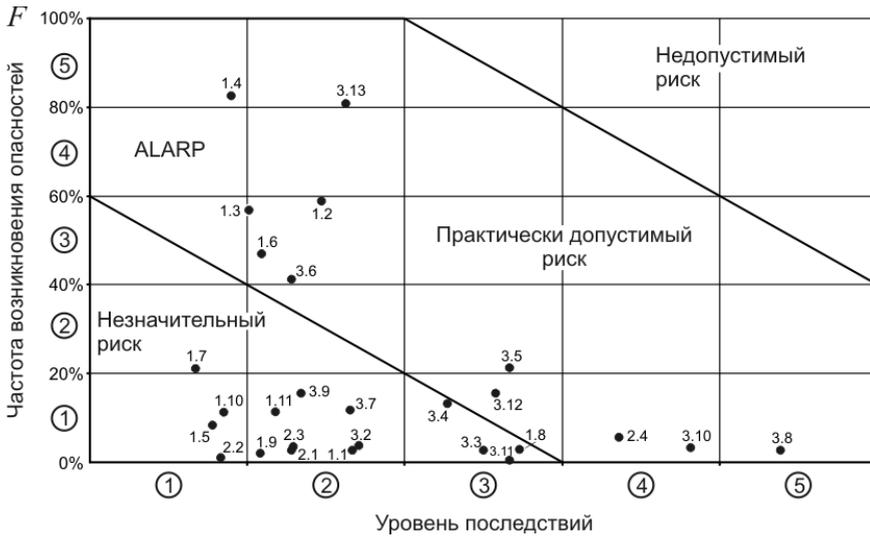


Рис. 1. Матрица риска ПС (для всех исследованных аварий)

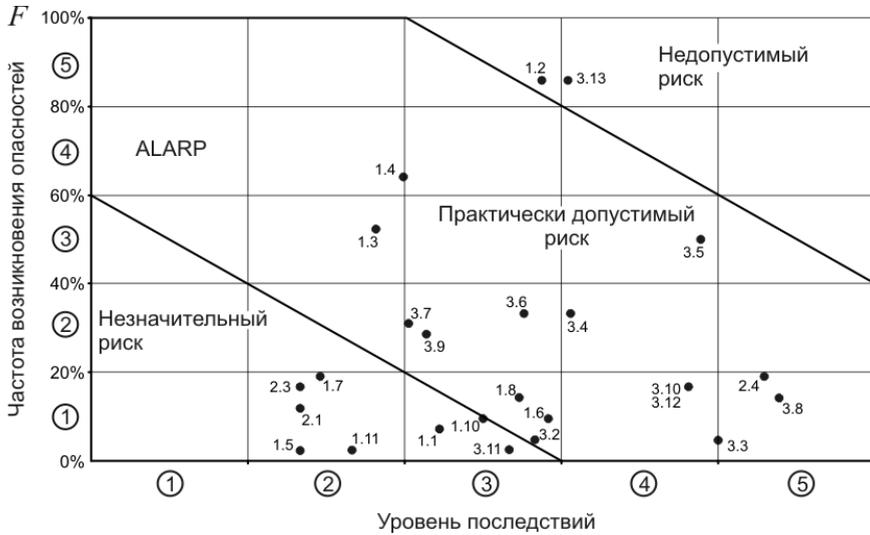


Рис. 2. Матрица риска ПС (для катастроф)

- опасности 2.4 (нарушение ограничений «Информации об остойчивости и непотопляемости»), 3.3 (посадка на мель) и 3.8 (перегруз судна) относятся к зоне «ALARP» за счет тяжести последствий (следует отметить, что перегруз пассажирского судна является самой серьезной проблемой для относительно небольших судов, тяжесть последствий данной опасности наибольшая среди всех);

- опасности 1.3 (ошибки при проведении ремонта), 1.4 (пропуски дефектов при дефектации корпусов, машин, механизмов, устройств) относятся к зоне «ALARP» за счет высокой частоты возникновения.

Согласно подходам, принятым в методе формализованной оценки безопасности [2, 4], опасности, которые отнесены по уровню риска к зоне «недопустимого риска», должны быть подвергнуты процедуре управления риском (снижения частоты и/или последствий) при любом уровне затрат, требуемых для этого. Опасности из зоны «ALARP» требуют проведения технико-экономического анализа, с определением оптимальных по стоимости мероприятий по снижению уровня риска.

К практическим вариантам регулирования риска следует отнести меры организационные (в эксплуатации) и меры при проектировании корпуса (нормирование).

Суть применения ФОБ состоит в том, что для ранжированных определенным образом опасностей следует найти такие меры по уменьшению их вероятности и последствий воздействия, стоимость Z реализации которых будет меньше изменения риска ΔR , также определенного в стоимостном виде.

Решение задачи управления риском ПС при воздействии опасности 1.2 лежит в сфере организационно-технических мероприятий при проведении наблюдения за фактическим состоянием корпусов судов при эксплуатации. Остальные опасности являются прямым следствием действия человеческого фактора и требуют соответствующих мероприятий по управлению им, в частности, введением Системы Управления Безопасностью для судов внутреннего плавания – совершенно не допустимо, чтобы пассажирскими судам управляли случайные люди.

Старение флота судов внутреннего и смешанного плавания наряду с существенным снижением уровня компетентности и ответственности экипажей, особенно в небольших компаниях, приводит к росту аварийности.

Даже по официальным данным, имеющим отношение только к морским судам с флагом России и приведенным в табл. 5, количество аварийных случаев, начиная с 2004 года, увеличивается. Статистика 2007 года, с учетом событий в Керченском проливе, эту отрицательную тенденцию сохранила. Уменьшение количества аварийных случаев в 2008 и 2009 годах связано с известными явлениями экономического кризиса, в период которого число эксплуатирующихся судов значительно сократилось. Уже, начиная с 2010 года, наблюдается рост аварийных случаев. В 2011 году произошли катастрофы пассажирского дизель-электрохода «Булгария» и буровой платформы «Кольская».

Однако для малых и круизных пассажирских судов, где уровень экипажей в крупных компаниях продолжает оставаться достаточно высоким, такого роста аварийности, как в целом по флоту, не наблюдался.

Были построены графические зависимости числа аварий и катастроф от возраста судна (см. рис. 3) и распределение по годам (см. рис. 4).

На рис. 3 наблюдается устойчивый рост аварийности для судов старше 17 лет с пиком катастроф для судов с возрастом 24-27 лет.

Таблица 5

Динамика аварийных случаев с морскими судами под флагом России

Классификация аварийных случаев	2002 год	2003 год	2004 год	2005 год	2006 год	2007 год	2008 год	2009 год	2010 год
Кораблекрушения	3	6	7	7	7	7	3	3	-
Аварии	4	1	4	1	3	4	1	4	3
Аварийные случаи	55	35	37	58	64	66	44	24	54
Всего	62	42	48	66	74	77	48	31	57

Рис. 4 позволяет отметить некоторый рост количества аварийных случаев с 1999 года и в последующих годах и, особенно, с 2006 года.

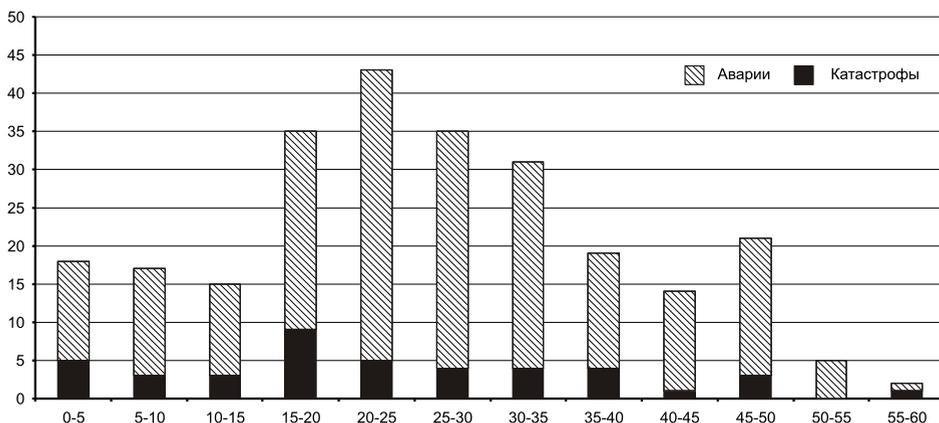


Рис. 3. Зависимости количества аварий и катастроф ПС от возраста

Интерес представляет также распределение по классам аварий (см. табл. 6). Графически роль различных классов аварий представлена на рис. 5-7.

Как видно из табл. 6, при всех уровнях последствий чуть больше четверти всех случаев составляют случаи повреждения машин и механизмов, затем примерно по 20,7 % – пожары (взрывы), повреждение корпуса и затопления, около 10 % – повреждения устройств.

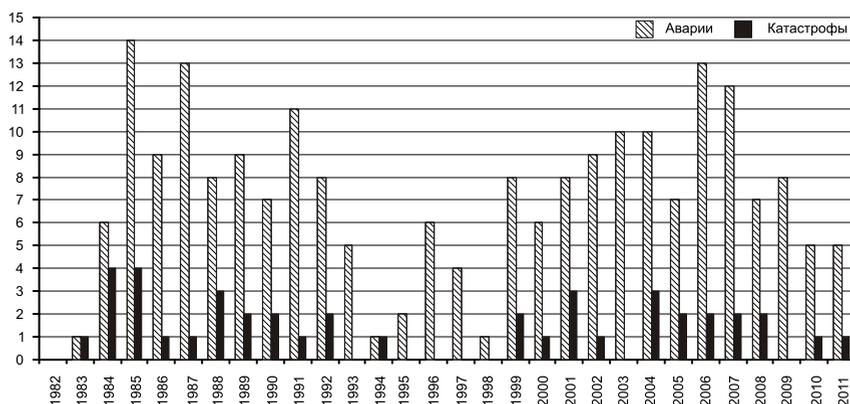


Рис. 4. Распределение количества аварий и катастроф ПС по годам

Таблица 6

Распределение по классам аварий

Класс аварии	Затопле ние	Повреж дения машин и механиз мов	Пожары и взрывы	Повреж дения корпуса	Повреж дения устройс тв	Σ
Аварии и катастрофы						
Количество	46	58	44	43	22	213
Относительная доля	21,6 %	27,2 %	20,7 %	20,2 %	10,3 %	100,0 %
Аварии						
Количество	16	58	42	33	22	171
Относительная доля	9,4 %	33,9 %	24,6 %	19,3 %	12,9 %	100,0 %
Катастрофы						
Количество	30	0	2	10	0	42
Относительная доля	71,4 %	0,0 %	4,8 %	23,8 %	0,0 %	100,0 %
Относительная опасность класса аварии						
Доля аварий в общем количе стве событий	35 %	100 %	95 %	77 %	100 %	
Доля катастроф в общем коли-	65 %	0 %	5 %	23 %	0 %	

число событий						
---------------	--	--	--	--	--	--

Достаточно интересным представляется относительная опасность класса аварии. В двух третях всех событий, связанных с затоплением и потерей остойчивости, происходит гибель пассажирского судна. Почти каждое четвертое судно с повреждением корпуса гибнет.

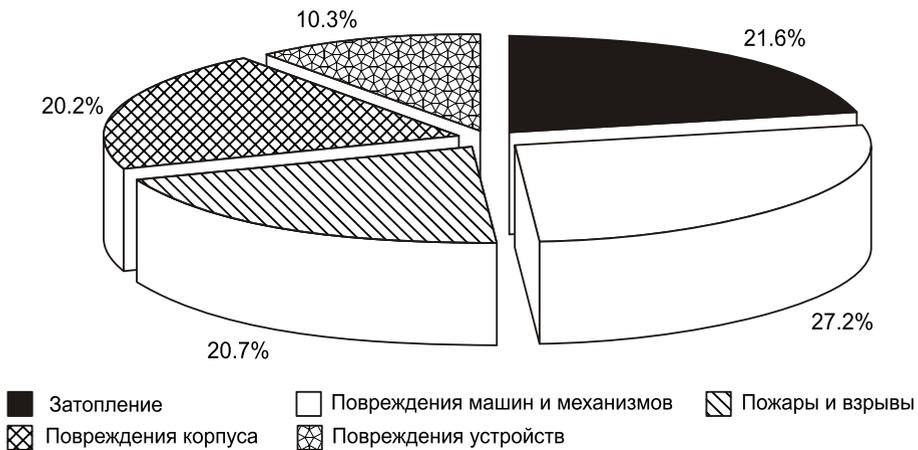


Рис. 5. Роль различных классов аварий (при всех уровнях последствий)

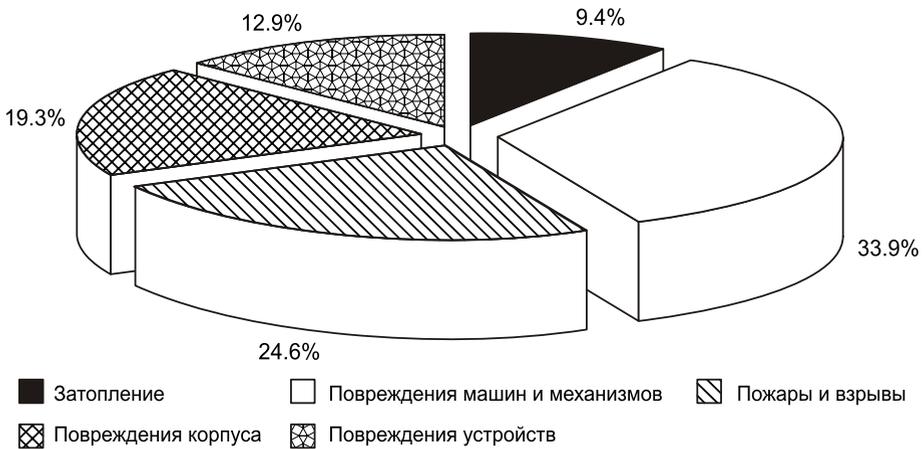
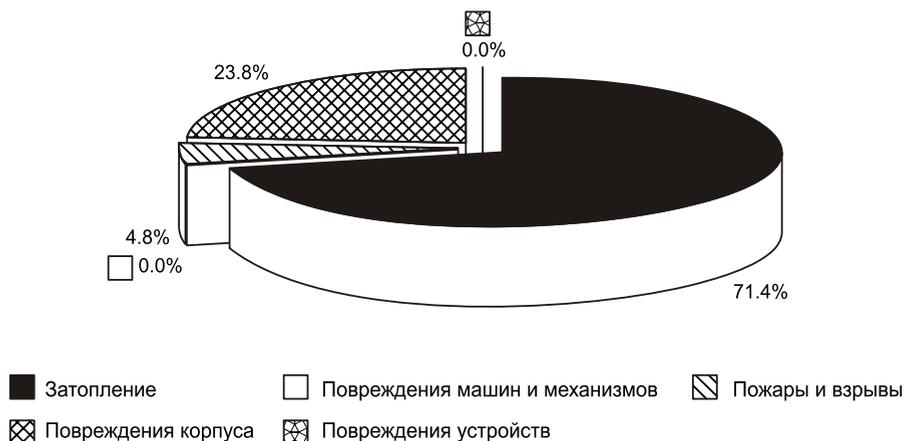


Рис. 6. Роль различных классов аварий (при уровнях последствий C = 1, 2, 3)



*Рис. 7. Роль различных классов аварий
(при уровнях последствий $C = 4$ и 5)*

Учитывая, что общее количество находившихся ежегодно в эксплуатации речных ПС, составляло около 800 судов, частота кораблекрушений с ПС за 1983-2011 годы достигло примерно 1,7 случая на 1000 судов в год, что вполне соответствует среднемировому уровню. Данная оценка может быть признана достаточна достоверной, т.к. случаи с уровнем последствий $C = 4$ и $C = 5$ скрыть крайне сложно.

Ежегодная вероятность аварий и аварийных происшествий с ПС за 1983-2011 годы составляет грубо 6 случаев на 1000 судов в год. Однако имеющиеся в распоряжении авторов отчета данные по случаям с уровнями последствия $C = 1$, $C = 2$ и $C = 3$ нельзя признать полными.

Заключение. В краткосрочной и среднесрочной перспективе решение проблемы обеспечения достаточной надежности и безопасности ПС при сохранении приемлемого уровня эффективности возможно только при обеспечении системного подхода на всех стадиях жизненного цикла ПС, включая этапы классификации и требований Правил, проектирования, строительства, эксплуатации, освидетельствований, ремонта и модернизации. Необходим индивидуальный подход к существующим судам, учитывающий условия эксплуатации, ограничения водных путей и портов, ледовую обстановку.

Кардинальное долговременное решение проблемы требует строительства нового флота ПС [2, 8].

Среди технических рекомендаций с позиции безопасности судоходства и экологической безопасности при проектировании пассажирских судов можно выделить следующие меры по снижению риска:

1. Не допускать размещения открываемых отверстий (иллюминаторов) в пределах непроницаемого основного корпуса.

2. Не допускать несимметричного по ширине распределения запасов, которое могло бы привести к возникновению крена при эксплуатации.

3. Не допускать размещения нефтесодержащих жидкостей (топлива, масла, подсланевых вод) в цистернах, контактирующих с заборной водой.

4. Использовать в качестве средств спасения современные эвакуационные системы, широко применяемые на морских пассажирских судах.

5. Оснащать пассажирские суда средствами записи действий вахты («черными» ящиками) и средствами аварийной внешней сигнализации (АРБ).

6. Перейти к применению электронных карт и средствам автоматизированного определения координат.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров А.Г. *Анализ причин и последствий аварий судов внутреннего и смешанного плавания за 1991-2010 годы // Проблемы техники.* – 2011. – № 1. – С. 3-30.
2. Егоров Г.В. *Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска.* – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
3. Егоров Г.В. *Развитие требований к средствам контроля загрузки морских и смешанного плавания судов // Автоматизация судовых технических средств: Научн.-техн. сб. – Вып. 5. – Одесса: ОГМА, 2000. – С. 36-53.*
4. Егоров Г.В. *Исследование риска при эксплуатации судов смешанного плавания // Сб. научн. трудов УГМТУ. – Николаев: УГМТУ, 2000. – № 5. – С. 49-59.*
5. Егоров Г.В. *О причинах переломов корпусов судов // Проблемы техники.* – 2002. – № 2. – С. 3-15.
6. Егоров Г.В. *Анализ аварий корпусов судов ограниченных районов плавания // Проблемы техники.* – 2002. – №3. – С. 3-25.
7. Егоров Г.В. *Суда смешанного река-море плавания: перспективы существующего флота // Сб. научн. трудов НУК. – Николаев: НУК, 2008. – № 3 (420). – С. 3-12.*

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

УДК 629.553

Г.В. Егоров, Н.В. Автутов

**СУХОГРУЗНЫЕ СУДА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА
С ПОНИЖЕННЫМ НАДВОДНЫМ ГАБАРИТОМ**

Обґрунтовано концепт судна «Волго-Дон макс» класу із зменшеним надводним габаритом, який не тільки дозволяє проходити під мостами без їх розведення, але й перевершує існуючі вітчизняні річкові судна за техніко-економічними характеристиками у річці.

Ключові слова:

Обоснован концепт судна «Волго-Дон макс» класу с пониженным надводным габаритом, который не только позволяет проходить под мостами без разводки, но еще и превосходит существующие отечественные речные суда по технико-экономическим характеристикам в реке.

Ключевые слова

Concept of «Volgo-Don max» class is created. This concept is characterized by reduced vessel's air draught; it allows not only pass under bridges without bridge raising but also surpasses existing domestic river vessels in technical and economic characteristics of river sailing.

Keywords:

Постановка проблеми. По данным Минтранса России за 2010 - 2011 годы объемы перевозки грузов на внутренних водных путях (ВВП) европейской части России увеличились: в 2010 году на 7,4 % (104,9 млн. тонн) к уровню 2009 года; в 2011 году на 20,7 % (126,6 млн. тонн) к уровню 2010 года. Выход на докризисный уровень перевозок возможен уже в 2012 году.

Поэтому при сохранении темпов роста перевозок главной проблемой водного транспорта (ВВТ) будет пропускная способность шлюзов и проходы под мостами.

Судовладельцы, эксплуатирующих грузовые суда по ВВП Российской Федерации, признают, что техническое состояние существующих речных судов с каждым годом вызывает всё большие и большие опасения, причём основным фактором, вызывающим беспокойство, является возраст судов.

Нормативный срок эксплуатации судов составляет 25-35 лет при максимально возможном сроке эксплуатации 40 лет. Таким образом, через 5-10 лет возможно списание более 50 % эксплуатируемого в настоящее время сухогрузного флота, что приведет к обвалу объемов перевозок на речном транспорте.

Предъявляемый рынком спрос на транспортные услуги ВВП через 5-10 лет невозможно будет удовлетворить в связи с быстрым старением и перспективой списания флота. Железная дорога также не справится с ростом спроса на транспортном рынке, поскольку уже сейчас работает на пределе провозной способности. В этой связи особую актуальность приобретает проблема обновления речного сухогрузного флота путем строительства новых речных судов "Волга-Дон макс" класса для замены судов типа "Волго-Дон", "Волжский" (в работе 102 судна, причем суда пр. 507Б имеют средний возраст около 40 лет, пр. 1565 – 36 лет, пр. 05074М – 21 года).

Целью статьи является обоснование основных параметров концепта нового речного сухогрузного судна «Волго-Дон макс» класса, предназначенных для замены существующих судов и имеющих для «расширения» узких мест ВВП пониженный надводный габарит с возможностью прохода под мостами без их разводки.

Существующие сухогрузные суда. По данным Российского Речного Регистра (РРР), возрастная структура сухогрузных судов внутреннего плавания в 2010 году характеризовалась следующими параметрами (см. табл. 1).

Таблица 1

*Возраст сухогрузных судов по данным РРР
по состоянию на август 2010 г.*

Вид флота	Возрастные группы судов					Итого судов
	менее 10 лет	10-20 лет	21-30 лет	31-40 лет	свыше 40 лет	
Распределение судов по возрастным группам						
Самоходные сухогрузные, ед.	17	40	394	296	485	1232
Всего, ед.	97	458	2525	1831	1202	6113
Возрастная структура флота						
Самоходные сухогрузные, %	1,38	3,25	31,98	24,03	39,37	100
Всего, %	1,59	7,49	41,31	29,95	19,66	100

Используя данные табл. 1 средний возраст самоходных сухогрузных судов можно оценить в 35,5 лет.

Количество, средний возраст и общее техническое состояние наиболее распространенных проектов самоходных сухогрузных судов внутреннего и смешанного плавания приведены в табл. 2.

Таблиця 2

Количество, средний возраст и общее техническое состояние наиболее распространенных проектов сухогрузных судов внутреннего и смешанного плавания (по состоянию на август 2010 года)

Тип, проект, дедвейт	Количество судов в классе РРР	Средний возраст, год	Количество судов с оценкой «негодное» и «ограниченно годное»
Волжский, 05074, 5100 тонн	6	21,1	-
Волго-Дон, 1565, 5100 тонн	41	35,9	2
Волго-Дон, 507Б, 5210 тонн	55	40,0	4
Омский, 1743, 3070 тонн	7	25,5	1
Волго-Балт, 2-95, 3140 тонн	7	38,2	1
Калинград, 21-88, 21-89, 2200 тонн	45	45,3	11
Шестая пятилетка, 576, 2050 тонн	90	49,2	16
СТК, 326, 326.1, 1540 тонн	11	25,6	-
Окский, 559, 559Б, 559М, 1740 тонн	38	40,0	9
Окский, Р97, 1900 тонн	14	29,6	1

Основными критериями грядущего массового списания речных судов являются:

- крайний физический износ – некоторые речные суда эксплуатируются по 40 лет и более (типа «Шестая пятилетка», «Окский» и др.);

- большие капиталовложения в поддержание должного технического состояния судов для прохождения классификационного освидетельствования Регистром (документы действуют в течение 5 лет при условии ежегодного подтверждения). В результате затраты на ремонт и подтверждение классификационных документов не окупаются в течение 4-5 лет на тех направлениях и грузах, где работает судно, т. е. ремонт и подтверждение класса экономически нецелесообразно;

- в случае, когда дальнейшая эксплуатация судна угрожает безопасности судоходства и связана с высокими рисками аварии;

- в случае, когда рост эксплуатационных затрат, связанных с поддержанием судов в рабочем состоянии (топливо, масло, запчасти, материалы, страхование и др.), делает его дальнейшую эксплуатацию нерентабельной.

Как видно из вышеизложенного, предстоящее списание грузового флота нанесет существенный, практически невозполнимый ущерб, в первую очередь, внутренним речным перевозкам (другими словами, суда необходимо строить).

Современные сухогрузные суда смешанного плавания «Волго-Дон макс» класса созданы (пр. 006RSD02, 006RSD05, 007RSD07, RSD19, RSD20, RSD49) и успешно строятся [1, 2, 4, 5, 6].

Сравнение технико-экономических характеристик существующих грузовых судов, построенных в прошлом веке, и нового поколения произведено в табл. 3.

Построенные за последние 5-10 лет суда новых проектов отличаются повышенной надежностью, полностью автоматизированы, оснащены передовой техникой, причем многие из них имеют полноповоротные винто-рулевые колонки, как единое средство управления и движения.

Однако большинство из судов нового поколения принимает на борт меньше груза в реке, чем классические «Волго-Доны» и «Волжские».

Другими словами, если рассматривать сезонные перевозки (весна-лето), то производительность судов проектов 006RSD02, 006RSD05, 007RSD07, RSD19, RSD20, RSD49 по сравнению с существующими судами снизилась. Такие результаты вполне закономерны, так как стандарт прочности новых судов заметно выше, чем старых, соответственно, больше масса судна порожнем и меньше дедвейт в реке.

При этом суда нового поколения имеют значительные преимущества при работе с устьевых портов, в Каспии и в море вообще.

Поэтому возникла принципиальная потребность в судах смешанного плавания с такой же грузоподъемностью в реке и таким же классом по району плавания, как суда типа «Волго-Дон» и «Волжский», т.е. «О-ПР» и при этом имели бы в отличие от «Волго-Донов» уменьшенный надводный габарит, который бы позволил проходить через мосты по реке Нева и в Ростове-на-Дону без их разводки.

Фактические и перспективные грузопотоки. В процессе разработки концепции нового судна было выполнено ряд исследований в части состояния перевозок грузов в европейской части ВВП РФ, а также прогноз перспективных направлений перевозок грузов по ВВП.

Необходимо отметить, что ОАО «Судоходная компания «Волжское пароходство» работает в основном на внутренних речных перевозках, которые обеспечиваются, главным образом, судами типа «Волго-Дон» (66,5 % грузоподъемности всех судов пароходства).

Основными видами перевозимых по ВВП грузов являются: удобрения (в том числе: карбамид, сульфат аммония, аммиачная селитра, хлористый калий), зерновые, лес, соль, стройматериалы, уголь, металл и металлопродукция, промышленное и химическое сырье, нефтеналивные грузы, генеральные грузы.

Структура перевозимых судами Волжского пароходства грузов за 2008-2009 года представлен в табл. 4.

Таблиця 3

Сравнение основных характеристик сухогрузных судов смешанного плавания

Характеристика	Пр. RSD44 «Каштан Рузанкин»	Пр. 006RSD02 «Надежда»	Пр. 007RSD07 «Ганис»	Пр. RSD19 «Хазар»	Пр. 005RSD06.01 «Тюмень»	Пр. 05074M «River Grace»	Пр. 19610 «Волга»
Класс судна	☛ М-Пр 2.5 (лед 20) А	☛ М-Пр 2.5 (лед 20) А	☛ М-Пр 2.5 (лед 20) А	☛ М-Пр 2.0 (при постройке) KM ★ Л4 III СП	☛ М-СП 3.5 (при постройке) KM Ice 1 R2-RSN	☛ О-Пр 2,0 (при постройке) KM ★ Л4 III СП	☛ Л3 KM I II A2
Длина наибольшая, м	139,97	139,63	139,99	139,95	136,73	138,40	140,00
Длина между перпендикулярами L, м	138,90	133,84	133,91	135,69	131,10	135,00	134,00
Ширина габаритная, м	16,80	16,70	16,70	16,70	16,75	16,70	16,56
Ширина B, м	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,40
Высота борта D, м	5,00	6,00	6,00	6,00	5,50	5,50	6,70
Осадка по ЛПВЛ в море, м	3,527	4,60	4,60	4,60	4,19	3,518	4,677
Осадка в реке, м	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60
Высота габаритная от ОП до верха несъемных частей, м	8,00	16,20	16,50	17,20	16,20	16,00	16,40
Кубический модуль, LBD	11757	13991	14027	14023	12596	12712	15533
Валовая вместимость, GT	4076	5723	5706	5676	5223	4057	4991
Чистая вместимость, NT	1848	3353	3121	3109	2959	1378	1781
Объем грузовых трюмов, м ³	7086	10870	11000	10956	9780	6853	6864
Количество грузовых трюмов	2	4	4	4	4	2	4
Контейнеровместимость всего / в трюмах, TEU	140 / 140	280 / 210	274 / 204	274 / 204	-	-	144 / 92
Количество и мощность (кВт) главных двигателей	2x1200	2x1150	2x1120	2x1200	2x852	2x883	2x970

Продолжение табл.3

Скорость при осадке по ЛПВЛ, узл при % от МДМ	12,0 (85%)	10,5 (85%)	10,5 (85%)	11,9 (85%)	10,0 (100%)	10,2 (100%)	10,0 (100%)
Двигательно-рулевой комплекс	2 ВРК	2 ВРК	2 ВРК	2 винта в насадках + 2 руля	2 ВФШ в поворотных насадках	2 ВФШ в поворотных насадках	2 ВФШ в поворотных насадках + 1 руль
Мощность вспомогательных ДГ, кВт	2x184	3x160	2x215	2x240	2x150	2x100	3x150
Мощность аварийного ДГ, кВт	1x62	1x100	1x145 (аварийно-стояночный)	1x136 (аварийно-стояночный)	1x75	1x50	1x100
Мощность подруливающего устройства, кВт	120	160	200	200	72	95	135
Автономность, сут.	10	25	30	20	15	15	20
Экипаж/количество мест	8 / 16	12 / 14	13 / 15	13 / 16	15 / 18	12 / 16	18
В море при осадке по ЛПВЛ							
Дедвейт, т	5549	7078	7215	7004	6303	5091	6207
Спецификационный УПО груза, м ³ /т	1,30	1,64	1,62	1,68	1,59	1,41	1,18
Коэффициент использования водонемещения по дедвейту	0,749	0,738	0,743	0,725	0,757	0,735	0,696
В реке (осадка 3,60 м)							
Дедвейт, т	5530	4680	4778	4596	4866	5094	3825
Спецификационный УПО груза, м ³ /т	1,305	2,57	2,41	2,51	2,08	1,41	1,99
Коэффициент использования водонемещения по дедвейту	0,748	0,651	0,656	0,634	0,707	0,735	0,585

Таблиця 4

*Объем перевозок грузов ОАО СК «Волжское пароходство»
по номенклатуре, тыс. тонн*

Виды груза		2008	2009	
Сухие грузы	зерно и продукты перемола	372	38	
	комбикорма	7	3	
	уголь каменный, кокс	14	3	
	лесные в судах	87	-	
	металлы черные	741	1441	
	руда	железная и марганцевая	26	-
		прочая	60	-
	строительные грузы	2411	695	
	цемент	41	3	
	удобрения химические и минеральные	713	759	
	прочие грузы	2254	1645	
Всего		6726	4587	

Судоходная компания «Волжское пароходство» – крупнейшая транспортная компания Приволжского федерального округа, обеспечивающая потребности в перевозках грузов 7 республик, 18 крупных промышленных областей России и Украины. Суда пароходства работают от Санкт-Петербурга (включая Ладожское, Онежское озера), Москвы и верхней Камы до Астрахани и портов Азовского моря, включая порт Кавказ (см. рис. 1).

В навигацию работает около 250 судов самоходного и несамоходного флота Волжского пароходства. Для выполнения грузовых перевозок Волжское пароходство использует теплоходы типа «Волго-Дон» грузоподъемностью 5000 т, буксиры-толкачи, мощностью от 1340 до 2400 л.с. составами грузоподъемностью 9-27 тысяч тонн.

За навигацию 2011 года речные суда Волжского пароходства перевезли около 6,7 млн. тонн грузов, что на 22 % превышает показатель прошлого года. Грузооборот компании составил 9,25 млрд. т км, что на 16 % больше показателя 2010 года. Соотношение внутренних и экспортных перевозок в общем объеме грузов составило 44 % и 56 %, соответственно. Объем экспортных грузов с перевалкой в устьевых речных и морских портах вырос на 278 тыс. тонн (+8 %) и составил 3,7 млн. тонн. Внутренние перевозки увеличились по отношению к 2010 году на 50 % и составили 3 млн. тонн.

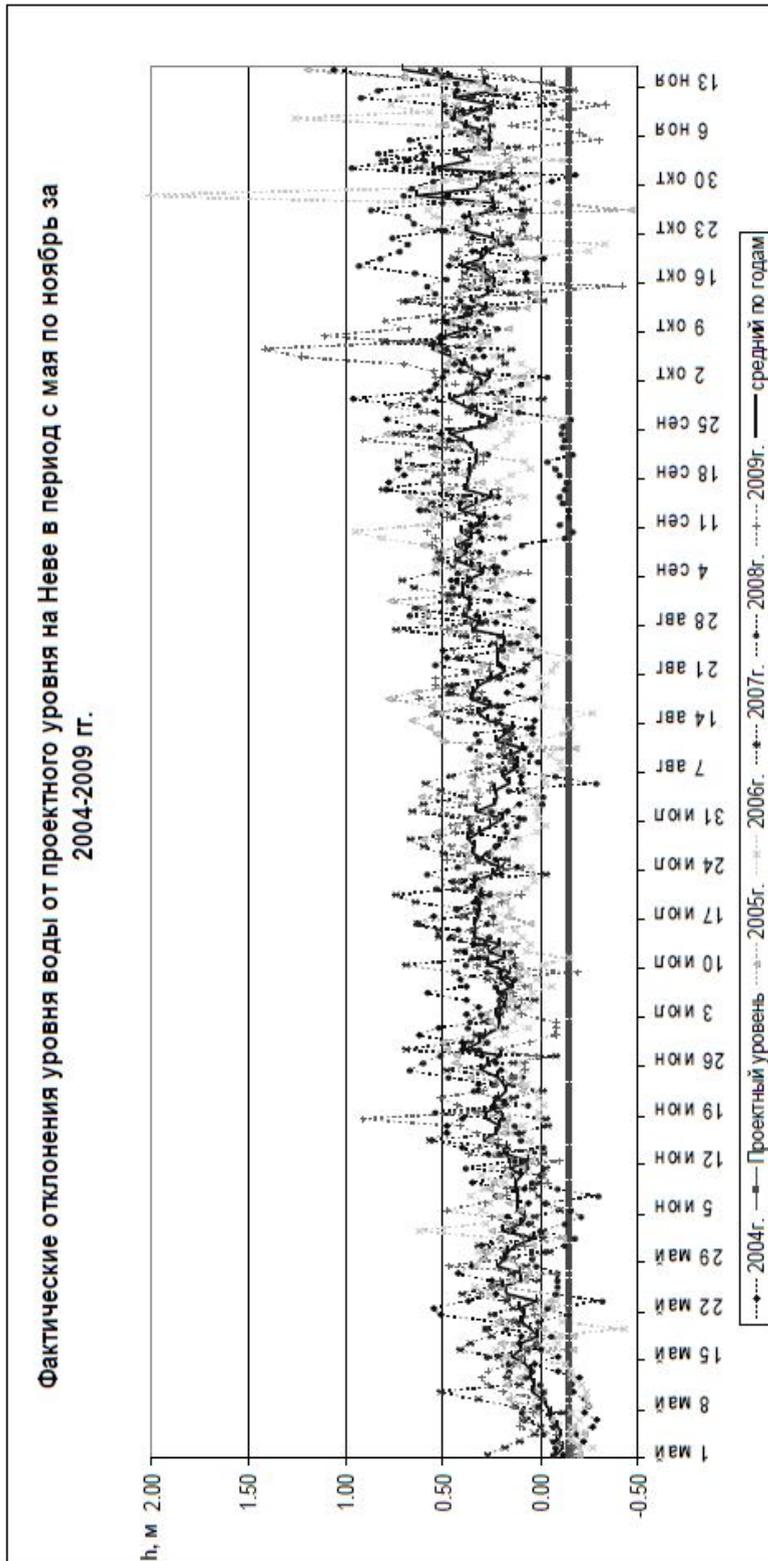


Рис. 1. Фактические отклонения уровня воды от проектного уровня на Неве в период с мая по ноябрь за 2004-2009 гг.

Рост производственных показателей обусловлен увеличением объемов перевозок металла из Череповца, Перми, Тольятти, Камбарки до 1,7 млн. тонн (+ 33 %), строительных грузов (щебня и песчано-гравийной смеси) до 2 млн. тонн (+45 %). Увеличились объемы удобрений из Череповца, Соликамска, Березников, всего перевезено 763 тыс. тонн, что на 138 тыс. тонн (+22 %) больше, чем в прошлом году. В 2 раза больше перевезено сырья для цементной промышленности – 346 тысяч тонн. Несколько снизились перевозки серы из порта Бузан. Объемы перевозок остальных видов грузов соответствуют показателям прошлого года.

Исследования показали, что для новой серии сухогрузных судов преимущественными являются следующие основные направления и номенклатура грузов:

- перевозка серы из п. Бузан (Астраханская область) и п. Усть-Донецк (Ростовский регион) на рейдовые стоянки Керченского пролива;
- перевозка металла из п. Череповец в С.-Петербург и в Астрахань;
- перевозка лесных грузов из пунктов Северо-Западного и Беломорско-Онежского бассейнов в С.-Петербург;
- перевозка хлористого калия из Камского региона (п. Соликамск) в Санкт-Петербург и на рейдовые стоянки Керченского пролива;
- перевозка удобрений (карбамид и др.) со Средней Волги (п. Тольятти) в С.-Петербург и на рейдовые стоянки Керченского пролива;
- перевозка аммиачной селитры из п. Березники на рейдовые стоянки Керченского пролива;
- перевозка зерна из Волжского и Донского бассейнов на рейдовые стоянки Керченского пролива;
- перевозка сахара-сырца с рейдовых стоянок порта Керчь до п. Таганрог;
- перевозка ферросплавов из украинских портов (Бердянск, Керчь) до Камского региона (п. Пермь);
- перевозка листового проката из п. Мариуполь до п. Волжский;
- перевозка глинозема, оборудования, металлопродукции из портов Азовского моря в пункты р. Волги;
- перевозка соли из Ахтубинска, Соликамска, Березников для потребителей Европейской части России.

Роль надводного габарита. На внутренних водных путях определяющими главными размерения судов факторами являются [1, 2]:

- размеры рабочих камер судоходных шлюзов;
- глубина, ширина и радиус закругления судового хода по реке;
- надводный габарит.

По данным Минтранса России работы по «расширению узких мест» на ВВП европейской части России должны быть закончены к 2020 году, в том числе:

- реконструкция лимитирующих участков и строительство второй нитки шлюза Нижне-Свирского гидроузла Волго-Балтийского водного пути (ВБВП);

- строительство низконапорного гидроузла со шлюзом Городецкого гидроузла;

- строительство вторых ниток Волго-Донского судоходного канала (ВДСК) и двух гидроузлов со шлюзами.

Решить же вопрос простоев перед мостами техническими средствами и модернизацией мостов невозможно. Мосты находятся в эксплуатации, в дневное время останавливать работу наземного транспорта для разводки мостов не представляется возможным.

Первыми, которые имели пониженный надводный габарит для работы под Невскими мостами, были два типа судов смешанного река-море плавания:

самоходные грунтоотвозные шаланды класса «М-ПР» проекта Р-32.3.2 типа «Невский» дедвейтом около 3400 тонн и габаритами 110,7 x 15,05 м (строились с 1989 года);

сухогрузы класса «R2-RSN» проекта 787 типа «Ладога-101» дедвейтом около 1664 тонн и габаритами 82,5 x 11,40 м (строились с 1988 года).

Учитывая «нишевое» назначение первых и малую грузоподъемность вторых, на общий грузопоток и в целом на ситуацию с очередями у мостов эти суда влияния не оказали.

Традиционные сухогрузные суда смешанного и внутреннего плавания [3], в том числе и самые востребованные – «Волго-Дон макс» класса, проектировались ранее и проектируются сейчас без возможности прохода под мостами в Санкт-Петербурге и в Ростове без разводки. При задании надводного габарита учитывалась только определяющие подмостные габариты в районе Городца и высота ЛЭП на ВДСК.

Анализ существующих мостов на основных внутренних водных путях европейской части России показал, что наиболее ограничивающими надводный габарит мостами являются мосты на реке Нева (г. Санкт-Петербург), в также железнодорожный мост в Ростове-на-Дону.

Используя данные ГБУ «Волго-Балт» (см. табл. 5 и табл. 6), можно сделать вывод, что до 2005 года включительно количество судов и объем перевозимого ими груза в черте Санкт-Петербурга из года в год увеличивались. В 2006 году количество пропусков судов с нефтегрузами значительно уменьшилось в связи банкротством ведущего речного нефтеперевозчика – компании «Волготанкер». Затем вмешался мировой кризис. Однако уже к 2011 году грузопоток достиг параметров 2005 года.

Таблица 5

*Данные о пропуске флота
через разводные пролеты мостов Санкт-Петербурга
по месяцам навигации, количество судов*

Месяц	Год							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Апрель	<u>53</u>	<u>49</u>	<u>66</u>	<u>9</u>	<u>50</u>	<u>33</u>	4	134
	50	46	55	3	38	27		
Май	<u>831</u>	<u>948</u>	<u>1022</u>	<u>635</u>	<u>941</u>	<u>909</u>	681	736
	778	848	968	609	900	857		
Июнь	<u>1151</u>	<u>1158</u>	<u>1147</u>	<u>1093</u>	<u>1079</u>	<u>1128</u>	902	967
	1069	1021	1062	1043	1018	1077		
Июль	<u>1183</u>	<u>1155</u>	<u>1265</u>	<u>1192</u>	<u>1161</u>	<u>1282</u>	777	921
	1099	1056	1176	1103	1111	1217		
Август	<u>1110</u>	<u>1092</u>	<u>1050</u>	<u>1236</u>	<u>1188</u>	<u>1178</u>	827	823
	1019	1003	952	1163	1134	1109		
Сентябрь	<u>877</u>	<u>1029</u>	<u>1099</u>	<u>1086</u>	<u>1131</u>	<u>1098</u>	718	799
	804	939	995	1020	1073	1006		
Октябрь	<u>782</u>	<u>951</u>	<u>1106</u>	<u>1108</u>	<u>1023</u>	<u>1120</u>	644	818
	688	869	1000	1034	975	1050		
Ноябрь	<u>217</u>	<u>29</u>	<u>368</u>	<u>323</u>	<u>421</u>	<u>422</u>	274	361
	169	203	310	279	386	365		
Декабрь							5	
Всего	6204	6621	7123	6682	6994	7160	4832	5529
В т.ч. с лоцма- нами	5676	5985	6518	6251	6635	6687	4832	5529

Примечание. В числителе – всего судов, в знаменателе – в том числе с лоцманами.
Источник: ГБУ «Волго-Балт»

Общее количество судов за навигацию до 2005 г. превышало 7000 ед., а в пиковые месяцы через Санкт-Петербург проходило в среднем более 40 судов каждые сутки.

В 2011 году перевозки по ВБВП превысили уровень 2005 года (22 млн. тонн против 21,2 млн. тонн). Объем перевозок нефтепродуктов достиг показателей 2005 года (5,523 млн. тонн против 5,510 млн. тонн) при практически неизменном грузопотоке черных металлов, леса и удобрений. Судопоток по ВБВП достиг в 2011 году 23150 проходов (19710 в 2005 году).

Таблица 6

*Данные о судопотоке и перевозках грузов по реке Неве
в черте Санкт-Петербурга*

	Год							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Прошло судов всего, ед.	<u>6344</u> 6389	<u>6669</u> 7645	<u>7198</u> 8321	<u>6914</u> 8190	<u>7432</u> 8828	<u>7762</u> 9428	<u>5370</u> 6748	<u>5358</u> 7004
в том числе танкеров и наливных барж	<u>2122</u> 2065	<u>2571</u> 2363	<u>2896</u> 2547	<u>2522</u> 2461	<u>2345</u> 2323	<u>2640</u> 2638	<u>1238</u> 1237	<u>1631</u> 1631
Перевезено грузов всего, тыс. тонн	<u>8900</u> 9012	<u>9208</u> 9491	<u>9983</u> 10199	<u>8947</u> 9221	<u>9831</u> 10022	<u>9960</u> 10376	<u>6120</u> 6711	<u>6468</u> 7189
в том числе нефте- продуктов	<u>3637</u> 3636	<u>4488</u> 4487	<u>4999</u> 4996	<u>4606</u> 4602	<u>4740</u> 4735	<u>5269</u> 5267	<u>2681</u> 2681	<u>3661</u> 3661
Примечания								
1. Числитель – в створе моста Лейтенанта Шмидта; знаменатель – в створе Володарского моста.								
2. Включены только сведения о судах и грузах, проходящих в разводку мостов. Суда и грузы, которые проходят мосты без разводки, не учтены.								
Источник: ГБУ «Волго-Балт»								

Порядок разводки мостов по реке Нева для пропуска флота регламентируется утвержденными приказом № 36 от 20.02.2006 губернатора Санкт-Петербурга «Правилами пропуска судов при разводке Санкт-Петербургских мостов» [8].

В Правилах [8] указано, что разводка мостов производится в соответствии с графиком, утверждаемым правительством города; определены границы навигационного периода; установлены ограничения по погодным и другим условиям, когда разводка мостов не производится; введено требование по обязательной лоцманской проводке судов государственными лоцманами; ответственность за организацию безопасной проводки судов через Санкт-Петербург возложена на ГБУ «Волго-Балт».

В августе 2002 года сухогрузное судно «Каунас» столкнулось с опорой моста и затонуло, в навигацию 2005 года произошло еще несколько случаев навала судов на опоры невских мостов. Поэтому в июне 2005 года были предприняты дополнительные меры для повышения безопасности судоходства по реке Нева. Интервал между судами увеличен с 200 м (при следовании вверх) и 500 м (вниз) до 700 м (при следовании вверх) и 1000 м (вниз). До принятия указанных мер в одном направлении проходило до 25 судов в сутки, после только 20 судов в сутки.

Количество дней, когда не все заявки судов на проход через мосты были удовлетворены и суда оставались ожидать следующей разводки, составило в 2001 году – 67 дней, в 2002 году – 97 дней, в 2003 году – 79 дней, в 2004 году – 69 дней; в 2005 году (пиковом) – 118 дней. Количество судов, проведенных в разводку Санкт-Петербургских мостов в

2005 году, составило 7182 ед. В течение 69 дней пропускная способность мостов использовалась на 100 %. На вторые сутки осталось 2868 ед. флота (в 16 раз больше по сравнению с 2004 г.). При увеличении числа судов следует ожидать значительного увеличения простоев флота.

По данным ГБУ «Волго-Балт» в навигацию 2005 г. потери судовладельцев по причине вынужденных простоев в ожидании прохода по р. Неве составили 10 599 тыс. тоннаже-суток (2868 судов), что соответствовало на то время примерно 10 млн. долларам США.

Данные о потерях судовладельцев из-за задержки прохода судов и их стоимостная оценка приведены в табл. 7.

Таблица 7

*Потери из-за задержки прохода судов по участку р. Невы
в границах Санкт-Петербурга*

Показатели	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.
Потери судоходных компаний:				
- тоннаже-суток	4 052 500	1 948 000	645 500	10 599 000
- судов	1150 судов	528 судов	174 судна	2868 судов
- млн. долларов США	4,1	1,9	0,6	10,6

Источник: ГБУ «Волго-Балт»

Грузовой флот, следующий по Волго-Балтийскому водному пути, проходит мосты Санкт-Петербурга в период ночной разводки. Поэтому кроме простоев флота, вызванных недостаточной пропускной способностью собственно проводки в ограниченное время, следует учитывать ежедневные простои флота, связанные с ожиданием ночной разводки. Каждое судно, приходящее к мостам Санкт-Петербурга, как со стороны Ладоги, так и со стороны Финского залива, ожидает разводки мостов. Время ожидания составляет каждые сутки для каждого судна еще от 1 часа до 24 часов.

Выполнение правил проводки и ограниченное время разводки, а главное увеличение интенсивности движения флота, все более выдвигало проблему пропуска судов через мосты в качестве первоочередной, при этом специалисты считали, что этот участок реки Нева превращается в «бутылочное горлышко»¹ ВВП, причем, по мнению руководителя ГБУ «Волго-Балт» Владимира Николаева выход был один – создание судов с пониженным надводным габаритом.

Уже в 2002 году компания «Волготанкер АМС» поставила задачу создать концепты нефтеналивных самоходного судна и барже-буксирного

¹ Термин «бутылочное горлышко» используется зарубежными специалистами для характеристики участка водного пути, резко ограничивающего пропускную способность. Для мостов Санкт-Петербурга этот термин ввел проф. В.В. Клюев

состава для работы на Северо-Западном направлении. Концепты, созданные Морским Инженерным Бюро по заказу «Волготанкера», имели класс «М-ПР» и габаритную длину 150 м («Волго-Балт макс» класс). Однако в строительстве проекты не пошли, причем не только по причине банкротства заказчика, но и из-за того, что в силу увеличенной длины такие суда существенно затрудняли шлюзование на ВБВП (в шлюза, в отличие от «Волго-Донов» и «Волгонетей», помещались только они) и при этом концепты «Волго-Балт макс» класса не могут работать на южном направлении.

Новый концепт. В 2006 году ОАО «Волжское пароходство» и Морское Инженерное Бюро приступили к разработке концепт сухогрузного судна, который должен был заменить «Волго-Доны» и «Волжские». В отличие от концептов «Волготанкера» это судно относилось к «Волго Дон макс» классу (грузоподъемностью в реке около 5000 тонн), длина, ширина и надводный габарит которого позволяли бы эксплуатироваться по всей протяженности внутренних водных путей от портов Финского залива до Керченского пролива без разводки мостов на Неве и Ростовского железнодорожного моста.

Предварительные оценки показали, что отсутствие необходимости ожидать разводку мостов обеспечат экономию ходового времени до 20 суток за навигацию.

Необходимо отметить, что городской участок р. Невы является одним из наиболее затруднительных для судоходства участков из всех ВВП России. Большие скорости течения, наличие свальных потоков, городские огни очень затрудняют маневрирование судов длиной до 140 м. При этом судно должно пройти в разводной пролет шириной менее 40 м достаточно быстро, чтобы не затруднять проход других судов, т.к. время разводки мостов сильно ограничено (см. табл. 8). Навал на устой моста недопустим, т.к. может привести к повреждению устоев, разводной части моста или к повреждению корпуса судна. На всем пути следования запрещена отдача якоря, т.к. это неизбежно повлечет за собой повреждение кабельных переходов, устилающих дно р. Невы.

Самым низким мостом в Санкт-Петербурге (см. табл. 9) относительно проектного уровня является мост Лейтенанта Шмита (Благовещенский мост). Размеры поперечного сечения корпуса нового судна выбирались, исходя из размеров судоходных пролётов (разводного и неразводного).

Разводной пролет в наведенном положении:

- ширина судового хода 17 м;
- высота судового хода от расчётного уровня (PCY) 5,71 м;
- высота судового хода от проектного уровня (ПУ) 6,00 м.

Неразводной пролет (взводный и спусковой):

- ширина судового хода 20 м;
- высота судового хода от PCY 5,31 м;
- высота судового хода от ПУ 5,60 м.

Таблица 8

*Время, отводимое на пропуск судов в разводные пролеты
Санкт-Петербургских мостов, часы*

Мост	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008-2010 гг.
Володарский	2,92	2,92	2,75	2,75
Финляндский	2,67	2,67	2,50	2,50
Александра Невского	2,58	2,57	2,58	2,58
Большеохтинский	2,83	2,83	2,75	2,75
Литейный	2,67	2,92	2,83	2,83
Троицкий	2,83	3,00	2,92	3,00
Дворцовый	2,70	2,75	3,25	3,25
Благовещенский (бывший Лейтенанта Шмидта)	3,08	3,42	3,33	2,67
Биржевой	2,50	2,75	2,50	2,50
Тучков	1,75	1,92	1,75	1,75
Сампсониевский	1,33	1,33	1,17	1,17
Гренадерский	1,17	1,17	0,83	0,83
Кантемировский	1,17	1,17	0,83	0,83

В соответствии с требованиями «Местных правил плавания по судоходным путям Северо-Западного бассейна» [7] запас по высоте под мостами должен быть не менее 30 см, при этом в случае невозможности прохода по своим неснижаемым высотным габаритам в спусковые (взводные) пролеты, разрешается движение в наведенные разводные пролеты мостов.

Учитывая ограничения по осадкам судовых ходов, в предполагаемом районе эксплуатации в качестве рабочей модели эксплуатации судна при проходе судна под мостами на реке Нева без разводки мостов было принято следующее:

- проход в грузу при осадке 3,6 м в спусковой (взводный) пролет Благовещенского моста;
- проход в балласте в разводной пролет Благовещенского моста.

Поскольку при переходе в балласте судно имеет больший надводный габарит, чем в грузу, в качестве ограничительной была принята высота разводного пролёта Благовещенского моста, исходя из которой, максимально возможная высота судна над ватерлинией в балласте составила $5,71 - 0,3 = 5,41$ м (фактически у проекта RSD44 – 5,38 м).

По данным ГБУ «Волго-Балт» были построены графики фактического и усредненного отклонения уровня воды на Неве от проектного уровня в период с мая по ноябрь за 2004-2009 гг. (см. рис. 1, 2). Среднее отклонение в районе Благовещенского моста от ПУ за обозначенный период составило 0,40 м, от РСУ – 0,25 м (фактический уровень воды в Неве в районе Благовещенского моста на 25 см выше расчетного).

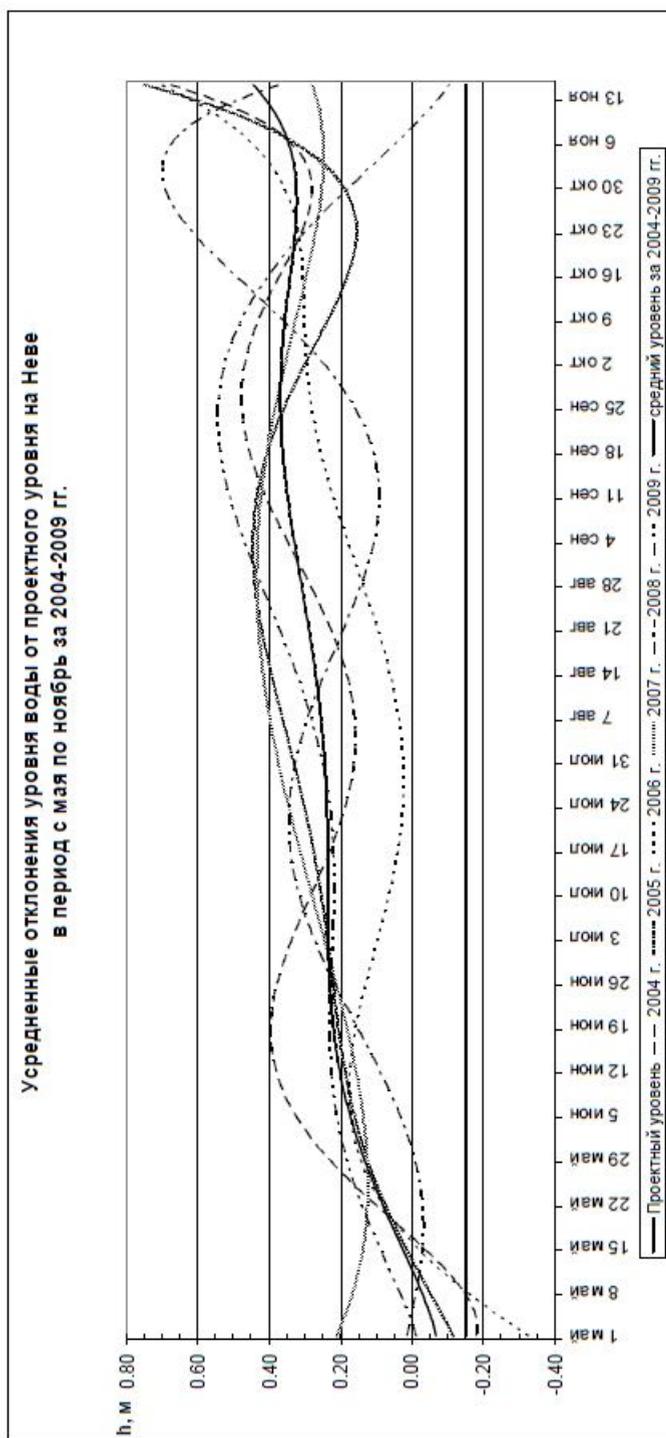


Рис. 2. Усредненные отклонения уровня воды от проектного уровня на Неве
в период с мая по ноябрь за 2004-2009 гг.

Расчётная схема прохождения судна в балласте в разводной пролет Благовещенского моста при РСУ представлена на рис. 3.

В результате сопоставлений ограничений по допускаемой осадке, длине, ширине и надводному габариту был разработан проект RSD44 судна с пониженным надводным габаритом. Архитектурно-конструктивный тип судов проекта RSD44 – стальной, двухтрюмный, двухвинтовой теплоход, с носовым расположением рулевой рубки, с кормовым расположением жилой рубки и машинного отделения, с двойным дном и двойными бортами в районе грузовых трюмов, с наклонным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью, с люковыми закрытиями типа «piggy back». Общее расположение судна проекта RSD44 приведено на рис. 4.

По заказу Морского Инженерного Бюро, специалистами СПбГМТУ была выполнена работа «Теоретическое исследование возможности прохода судном проекта RSD44 Благовещенского моста без его разводки». Исследования подтвердили возможность прохождения судна под Благовещенским мостом во всех эксплуатационных случаях загрузки, за исключением случая прохождения судна по течению под воздействием кормового ветра под углом $120^\circ \leq \gamma \leq 130^\circ$ со скоростью более 10 м/с.

Для снятия теоретических ограничений на прохождения судна под Благовещенским мостом было предложено провести натурные маневренные испытания судна, подтверждающие возможность прохождения судна под Благовещенским мостом и при воздействии указанных ветров. Программа и условия дополнительных маневренных испытаний были согласованы с ГБУ «Волго-Балт». По согласованию с ГБУ «Волго-Балт», 22 июня 2011 года был осуществлен экспериментальный проход головного сухогруза проекта RSD44 «Капитан Рузманкин» под Невскими мостами без их разводки (см. рис. 5). Судно показало отличные маневренные качества и высокую устойчивость на курсе при прохождении под пролётами мостов, имея на борту около 5000 тонн удобрений.

Сравнение существующих судов с пониженным надводным габаритом. Сравнение технико-экономических характеристик существующих грузовых судов с пониженным надводным габаритом, построенных в прошлом веке, и нового поколения произведено в табл. 10. Боковые виды судов с пониженным надводным габаритом представлены на рис. 6.

Суда типа «Невский» – самоходные грунтоотвозные шаланды, изначально предназначенные для работы в Северо-Западном регионе (Финский залив – Ладожское озеро) для перевозки песчано-гравийной смеси. В настоящее время суда оборудованы для перевозки генеральных грузов, контейнеров, леса и т.д. [9]. Рассмотренная в табл. 10 модификация судов типа «Невский» проекта Р-32.3.2 характеризуется пониженным надводным габаритом (для возможности прохода под Невскими мостами) и расположенной в носу подъемной ходовой рубкой (идентично с проектом Р-32К).

Таблиця 10

Сравнение основных характеристик сухогрузных судов
с пониженным надводным габаритом

Характеристика	Пр. RSD44 «Герои Сталинграда»	Пр. Р-32.3.2 «Невский»	Пр. 787 «Ладога»
Класс судна	✳ М-ПП 2,5 (лед 20) А	✳ М-ПП 2,5 (лед 30)	КМ ★ L3 R2-RSN AUT1
Длина наибольшая, м	139,97	110,70	82,50
Ширина габаритная, м	16,80	15,05	11,40
Ширина В, м	16,50	14,80	11,28
Высота борта D, м	5,00	4,30	5,83
Осадка в реке, м	3,60	3,30	3,60
Высота габаритная от ОП до верха несъемных частей, м	8,00	7,90	9,70
Кубический модуль, LBD	11757	7164	5483
Валовая вместимость, GT	4076	2250	1853
Объем грузовых трюмов, м ³	7086	1900	3047
Количество грузовых трюмов	2	1 грузовой бункер	1
Контейнеровместимость всего / в трюмах, TEU	140 / 140	-	60 / 39
Количество и мощность (кВт) главных двигателей	2x1200	2x566	2x440
Скорость при осадке по ЛГВЛ, узл при % от МДМ	12,0 (85%)	10,0 (100%)	10,3 (100%)
Мощность подруливающего устройства, кВт	120	55	75
Автономность, сут.	10	10	по пресной воде 10 по топливу 25
Экипаж/количество мест	8 / 16	10 / 14	14 / 16
Дедвейт, т	5530	3427	1664
Коэффициент использования водоизмещения по дедвейту	0,748	0,760	0,588
Энергозатраты на единицу транспортной производи- тельности, мощность/ (дед- вейт x скорость), кВт/т.узл.	0,0307	0,0330	0,0513

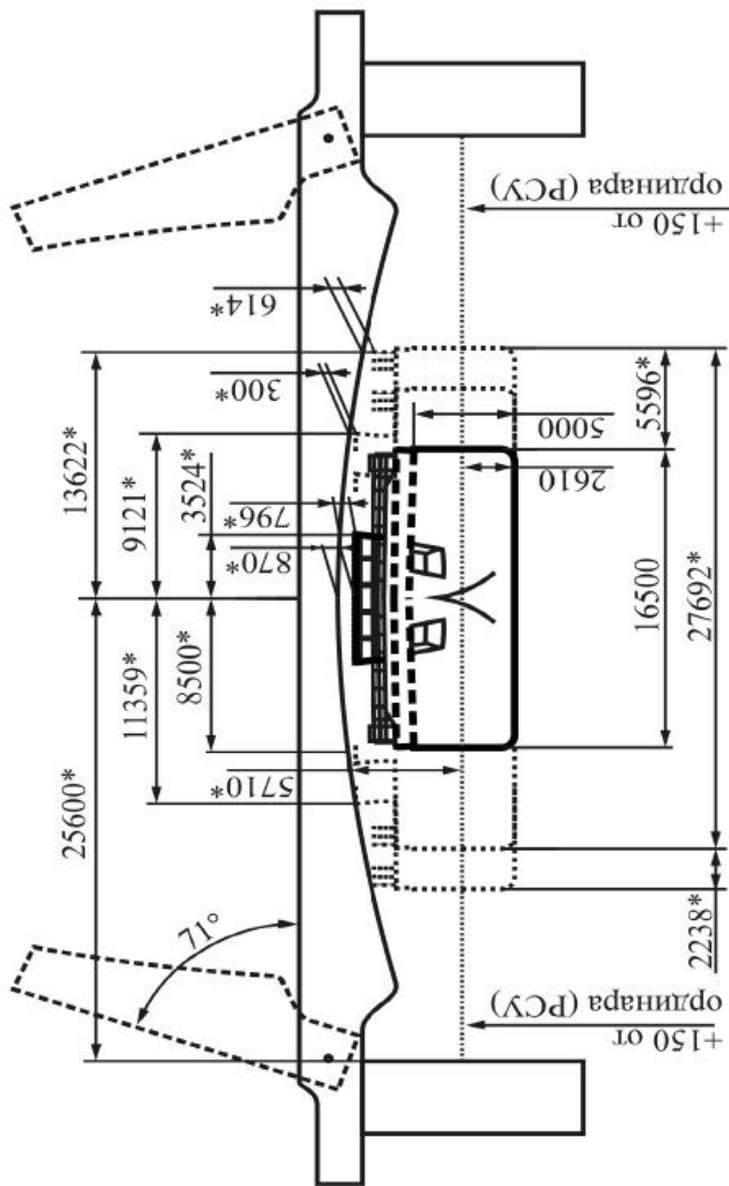


Рис. 3. Схема определения размеров поперечного сечения судна в зависимости от габаритов пролёта моста

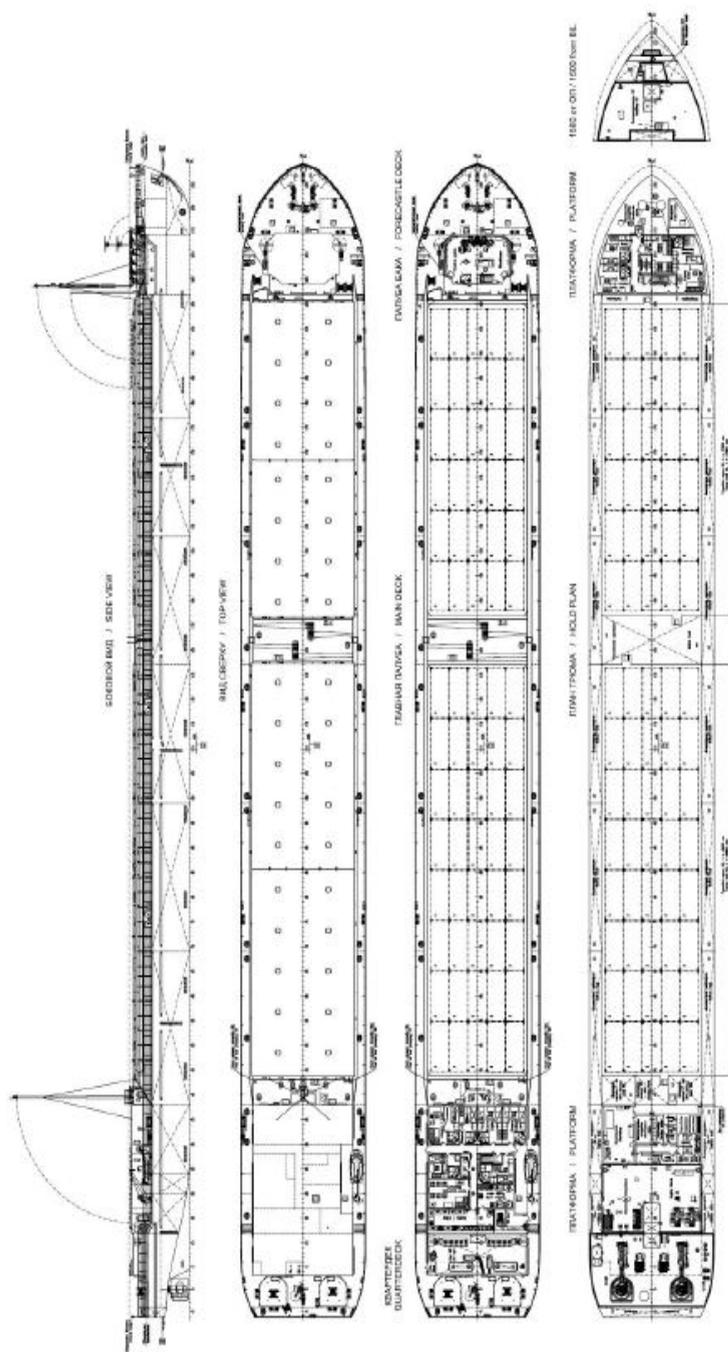


Рис. 4. Общее расположение сухогрузного судна «Волго-Дон макс класса»
с пониженным надводным габаритом



Рис. 5. «Капитан Рузманкин» проходит под Благовещенским мостом в Санкт-Петербурге

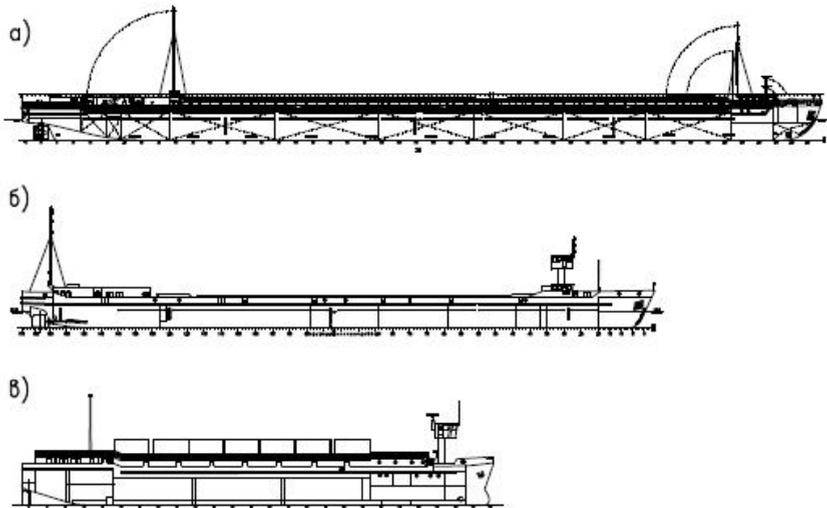


Рис. 6. Боковые виды сухогрузов с пониженным надводным габаритом:
а) «Устьевой» сухогруз района «М-ПР» смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с пониженным надводным габаритом проекта RSD44 типа «Герои Сталинграда»
б) самоходная грунтоотвозная шаланда района «М-ПР» смешанного река-море плавания с пониженным надводным габаритом проекта Р-32.3.2 типа «Невский»
в) сухогруз района «R2-RSN» смешанного река-море плавания с пониженным надводным габаритом проекта 787 типа «Ладога»

Суда типа «Ладога» – небольшие многоцелевые сухогрузные суда река-море плавания. В табл. 10 была рассмотрена модификация судов типа «Ладога» проекта 787 с пониженным надводным габаритом и с подъемной ходовой рубкой в носу.

Изначальное назначение судов типа «Невский» (перевозка песка, щебня без люковых закрытий) накладывает ряд ограничений на номенклатуру перевозимых грузов, кроме того, размерения судов типа «Невский» не позволяют «выбирать» полностью габариты ВВП европейской части России, тем самым, являются экономически менее привлекательными по сравнению с судами проекта RSD44. Суда проекта 787 типа «Ладога» являются более универсальными техническими средствами для перевозки грузов внутренними водными путями, однако, из-за небольших размерений, экономическая эффективность этих перевозок в значительной степени страдает.

Анализ возрастной структуры существующих отечественных судов с пониженным надводным габаритом показывает, что средний возраст таких судов приближается к расчетному сроку эксплуатации (24 го-

да). Последнее судно с пониженным надводным габаритом «Невский-40» проекта Р-32К (до появления проекта RSD44) было построено в 1994 году.

В целом по анализу судов с пониженным надводным габаритом можно сказать, что они проектировались и строились без полного использования габаритов ВВП европейской части России, в отличие от проекта RSD44.

Сухогрузные суда проекта типа «Капитан Рузманкин» имеют дедвейт при осадке 3,60 м в реке – около 5543 тонн, при осадке 3,53 м в море – 5562 тонн. Объем грузовых трюмов – 7090 куб. м.

Габариты проекта RSD44 (габаритная длина 139,99 м, габаритная ширина 16,80 м) позволяют обеспечить эксплуатацию судов через ВДСК, в том числе через "старую" ветку Кочетовского шлюза без режима "специальной проводки".

Грузовые трюма выполняются гладкостенными ("ящичными"), обеспечивающими самоссыпание груза. Двойное дно и двойные борта по всей длине "ящичных" грузовых трюмов (размеры трюмов: трюм N1 37,8 м x 13,2 x 6,22 м, трюм N2 49,8 м x 13,2 x 6,22 м) и топливных, масляных и сточных цистерн позволяют обеспечить удобство погрузки и выгрузки груза, высокую эксплуатационную надежность судна, а также гарантируют защиту окружающей среды и снижение рисков, связанных с загрязнением окружающей среды в районе эксплуатации судна.

Мидель-шпангоут приведен на рис. 7.

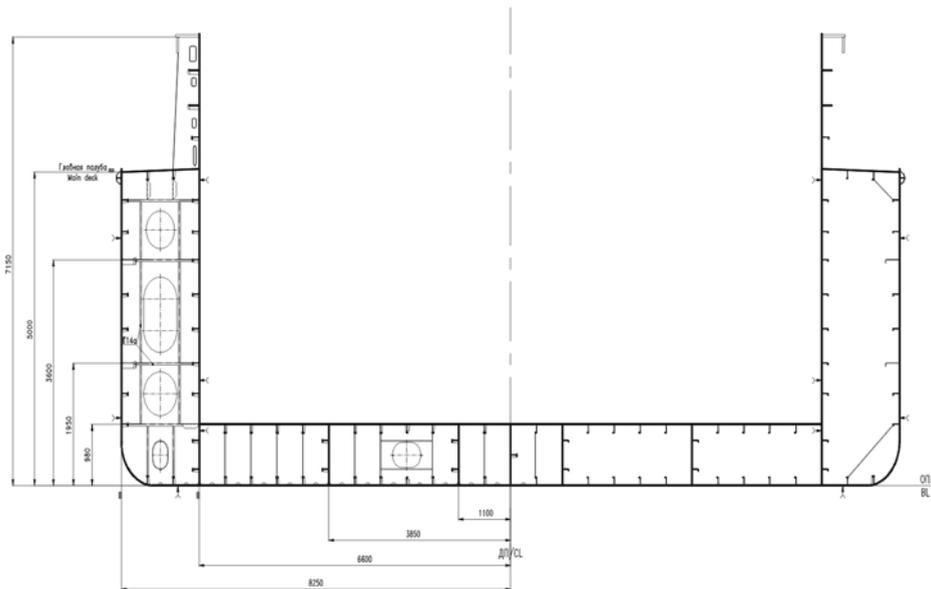


Рис. 7. Мидель-шпангоут судна проекта RSD44

Расчетный срок службы корпуса судна проекта RSD44 составляет 24 года. В качестве материала основных конструкций корпуса применяется судостроительная сталь категории В с пределом текучести 235 МПа. В качестве материала наружной обшивки корпуса в районе ледового пояса применяется судостроительная сталь категории D с пределом текучести 235 МПа. Верхняя часть непрерывных продольных комингсов люков выполняется из стали повышенной прочности категории D40 с пределом текучести 390 МПа. Элементы конструкций в районе жилых помещений, а также рулевая рубка выполняются из стали категории В с пределом текучести 235 МПа.

На судне устанавливаются 6 главных водонепроницаемых поперечных переборок, разделяющих корпус на 7 непроницаемых отсеков. Главная палуба, вторые и наружные борта, днище и второе дно выполняются по продольной системе набора, в оконечностях – частично по поперечной системе набора. Наружные и внутренние стенки кормовой и носовой рубок выполнены гофрированными. Поперечная шпация – 600 мм, в оконечностях – 550 мм, в районе промежуточных шпангоутов 300 и 275 мм.

Форма корпуса судов, выполненная максимально технологичной для обеспечения низкой стоимости корпусных работ, в то же время является достаточно мореходной и оптимальной по расходу топлива для заданных условий работы в речном классе О-ПР (М-ПР), обеспечивающей эксплуатационную скорость до 12,0 узлов.

Для обеспечения достаточного обзора водной поверхности с места управления судном, рулевая рубка с пультами судовождения располагается в носовой оконечности судна. При проходе узкостей и шлюзованиях управление судна осуществляется с бортовых пультов управления, установленных на открытой палубе с каждого борта в районе рубки.

На судах предусмотрены все необходимые условия для комфортного пребывания экипажа на борту, включая развитую систему климат-контроля, применение антивибрационных и противозвуковых покрытий внутри помещений.

Экипаж – 8 человек, капитан и старший механик размещаются в блок-каютах, остальные в одноместных каютах.

Интересно отметить, что по предложению "Волжского пароходства" общее число мест – 16, что позволит брать на борт курсантов, специалистов, осуществляющих техническое обслуживание оборудования, а также членов семей экипажа (жен). Последнее может быть серьезным преимуществом при подборе личного состава для работы на новой серии.

Дежурная шлюпка вместимостью 6 человек устанавливается на главной палубе. Два плота сбрасываемого типа, вместимостью 10 чел. каждый, устанавливаются на главной палубе с левого и правого бортов.

Судно проекта RSD44 снабжено двумя носовыми станowymi якорями Холла массой по 2000 кг каждый и одним кормовым якорем Холла

массой 1500 кг. Якоря убираются в клюзы с нишами и откидными крышками.

Для швартовных операций предусматриваются турачки брашпиля (в носу) и шпиля (в корме), которые обеспечивают ручное натяжение и травление швартовных канатов.

Для несения сигнально-отличительных огней, фигур и радионавигационного оборудования на судне устанавливаются носовая и кормовая мачты. Для прохода под мостами мачты предусматриваются заваливающейся конструкции. Подъем и заваливание мачт производится с помощью гидравлических цилиндров.

На судне устанавливаются водонепроницаемые люковые закрытия типа «riggy back». Перемещение люковых закрытий осуществляется двумя электрическими лебедками, расположенными над диптанком между трюмами.

Балластно-осушительная система предназначена для приема и удаления балласта из балластных цистерн, а также осушения МО, вспомогательного МО, цепных ящиков, грузовых трюмов и других помещений. В системе предусматривается два самовсасывающих электронасоса центробежного типа с аспираторами и стационарный водоструйный эжектор. Для балластных операций с цистерной форпика и осушения носовых помещений дополнительно к требующимся Правилами балластным и осушительным насосам предусматривается самовсасывающий балластно-осушительный насос.

Осушение льял машинного отделения предусматривается насосом нефтесодержащих вод (НСВ) в цистерну сбора НСВ, установленную в МО.

Пропульсивная установка состоит из двух полноповоротных винто-рулевых колонок с винтами фиксированного шага в насадках, объединяющих свойства движителей и средств управления в едином комплексе, что позволяет существенно улучшить маневренные качества судна в стесненных речных условиях. Привод к ВРК от главных двигателей через Z-передачу. Мощность на входе к каждой ВРК – 1200 кВт. Диаметр винта – 1900 мм.

Энергетическая установка состоит из:

- главной установки, состоящей из двух среднеоборотных дизельных двигателей максимальной длительной мощностью 1200 кВт при частоте 1000 мин⁻¹, работающих на 2 полноповоротные винто-рулевые колонки с винтами фиксированного шага в пропульсивной насадке;

- вспомогательной установки в составе двух дизель-генераторов электрической мощностью 185 кВт и аварийного дизель-генератора электрической мощностью 65 кВт;

- вспомогательной котельной установки в составе термального котла теплопроизводительностью 300 кВт;

- вспомогательных механизмов и аппаратов, обслуживающих энергетическую установку.

В качестве топлива применяются:

- для главного двигателя – тяжелое топливо HFO 380 вязкостью 380 сСт при 50 °С MDO с температурой вспышки паров более 60 °С,
- для дизель-генераторов и котельной установки применяется дизельное топливо MDO с температурой вспышки паров более 60 °С.

Объем и степень автоматизации технических средств судна соответствует знаку автоматизации А в символе класса судна в соответствии с Правилами РРР (в объеме требований к I группе судов). Управление судном осуществляется одним оператором из рулевой рубки. Судно оснащается центральным и бортовыми пультами управления движением судна, средствами навигации и радиосвязи.

Все системы и устройства автоматизации, устанавливаемые в машинных помещениях, приспособлены к работе с безвахтенным обслуживанием в течение периода не менее 12 часов в сутки (с периодическим техническим обслуживанием не чаще 1 раза в 6 месяцев).

Система автоматизированного управления и контроля энергетической установкой, вспомогательными механизмами, общесудовыми системами, позволяет осуществлять безвахтенное обслуживание машинного отделения при минимальном объеме технической профилактики. Дистанционное автоматизированное управление осуществляется с центрального пульта в рулевой рубке и бортовых пультов.

Следует отметить, что серия судов проекта RSD44 устанавливает рекорд не только по скорости строительства (Окская судостроительная верфь сдала за 2011 год восемь судов), но и по дедейте в реке при осадке 3,60 м (5540 тонн) и скорости на испытаниях (средняя скорость по течению и против течения на ходовых испытаниях головного судна составила более 12 узлов).

Всего в 2011-2012 годах было построено 10 судов нового концепта (см. табл. 11).

Таблица 11

Суда проекта RSD44

Название	Верфь	Дата закладки	Дата спуска	Дата сдачи
Капитан Рузманкин	Окская судостроительная верфь	24.02.10	23.11.10	20.05.11
Капитан Загрядцев	Окская судостроительная верфь	27.04.10	12.04.11	16.06.11
Капитан Краснов	Окская судостроительная верфь	26.06.10	05.05.11	14.07.11
Капитан Гудович	Окская судостроительная верфь	26.08.10	27.05.11	10.08.11
Капитан Сергеев	Окская судостроительная верфь	29.09.10	15.07.11	07.09.11
Капитан Кадомцев	Окская судостроительная верфь	29.11.10	16.08.11	10.10.11
Капитан Афанасьев	Окская судостроительная верфь	28.12.10	14.09.11	10.11.11
Капитан Юров	Окская судостроительная верфь	28.12.10	14.10.11	18.11.11
Капитан Шумилов	Окская судостроительная верфь	05.05.11	22.11.11	29.04.12
Капитан Канатов	Окская судостроительная верфь	22.06.11	18.01.12	29.04.12

Выводы

1. Надводный габарит в балласте нового концепта составляет всего 5,4 м (в грузу еще меньше), что позволит ему, в отличие от "Волжского", проходить под мостами через реку Неву и под Ростовским железнодорожным мостом без их разводки. В результате судно экономит время на ожидание очереди в разводку мостов, которое составляет до 20 суток за навигацию.

2. Дедвейт судна нового концепта при осадке 3,60 м в реке выше, чем у наиболее новых из существующих судов типа "Волжский" (пр. 05074М) на 7 %.

3. Объем грузовых трюмов проекта RSD44 на 21 % больше, чем у "Волжского", что позволит ему не только перевозить крупногабаритные грузы, но и значительно увеличить загрузку при перевозке "легких" грузов – ячменя, семян подсолнечника, хлопка, металлолома и труб большого диаметра и т.д.

4. При одинаковой длине и ширине, сухогрузное судно пр. RSD44 имеет меньшую высоту борта, в результате чего его модуль на 8 % меньше, чем у судов типа "Волжский", что позволит сэкономить до 8 % суммарных затрат на портовые и навигационные сборы.

Таким образом, суда проекта RSD44, серийную постройку которых осуществляет Окская судостроительная верфь, представляют собой уникальный инженерный комплекс, сочетающий оптимальные для внутренних водных путей габариты с современным оборудованием и навигационной техникой, имеющий значительные преимущества по сравнению с существующими аналогами.

В настоящее время ведутся переговоры относительно продолжения строительства серии проекта RSD44, при этом предполагается внесение ряда изменений с учётом опыта первой навигации судов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
2. Егоров Г.В. «Линейка» многоцелевых сухогрузных судов Морского инженерного бюро // Морская Биржа. – 2005. – № 4 (14). – С. 16-20.
3. Егоров Г.В., Ильницкий И.А. Определение главных размерений судов ограниченных районов плавания на основе анализа путевых условий // Вестник ОНМУ. – Одесса: ОНМУ, 2007. – Вып. 22. – С. 20-39.
4. Егоров Г.В., Ильницкий И.А. Многоцелевые сухогрузные суда типа «Хазар» дедвейтом 7000 т для Каспийского моря // Судостроение. – 2008. – № 3. – С. 15-22.

5. Егоров Г.В., Исунов Ю.И. Сухогрузное многоцелевое судно смешанного «река-море» плавания дедвейтом 6970 т «Гейдар Алиев» с винторулевыми колонками // Судостроение. – 2004. – № 4. – С.16 - 23.
6. Егоров Г.В., Чабан А.Ф., Автутов Н.В. Сухогрузные суда смешанного плавания «Волго-Дон макс» класса типа «Челси» // Морская Биржа. – 2009. – № 2 (28). – С. 16-23.
7. Особенности движения и стоянки судов по судоходным путям Северо-Западного бассейна. Минтранс РФ. – М.: РосКонсульт, 2006. – 21 с.
8. Правила пропуска судов при разводке Санкт-Петербургских мостов. Утверждены приказом № 36 от 20.02.2006 губернатора Санкт-Петербурга.
9. Сайт речного флота. – URL: <http://riverfleet.ru/fleet/> (дата обращения 04.04.12).

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012

УДК 656.012.224

Ю.И. Кириллов

**ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
КОНТЕЙНЕРОПОТОКОВ МЕЖДУ СУДАМИ, ОБСЛУЖИВАЮЩИМИ
МАГИСТРАЛЬНО-ФИДЕРНЫЕ ЛИНИИ**

Статья посвящена разработке экономико-математической модели задачи распределения контейнеропотоков между судами, обслуживающими магистрально-фидерные линии в контейнерных транспортно-технологических системах.

Ключевые слова: контейнеропоток, транспортно-технологическая система, магистрально-фидерная линия, траншипмент, экономико-математическая модель.

Стаття присвячена розробці економіко-математичної моделі задачі розподілу контейнеропотоків між суднами, обслуговуючими магистрально-фідерні лінії в контейнерних транспортно-технологічних системах.

Ключові слова: контейнеропотік, транспортно-технологічна система, магистрально-фідерна лінія, траншипмент, економіко-математична модель.

The purpose of the article is to develop the economic- mathematical model for the task of containers distribution between vessels, operating in transocean and feeder shipping lines withing container transport-technological systems.

Keywords: container traffic, transport-technological system, transocean-feeder line, transshipment, economic-mathematical model.

Постановка проблемы в общем виде. Основные контейнеропотоки в настоящее время корреспондируются между портами Европы, Азии и США, т. е. на направлениях, где расположены важнейшие центры мировой экономики и промышленного производства, а также сконцентрированы значительные объемы международной торговли. Регулярный сервис на данных направлениях предоставляют многие судоходные компании (СК) и организованные ими контейнерные линии. Крупнотоннажные суда, работающие на них, в силу своих конструктивных и технико-эксплуатационных характеристик заходят в ограниченное количество наиболее крупных и хорошо оборудованных глубоководных портов, выполняющих роль международных распределительных центров (Distribution Centers). Эти центры в различных источниках называют осевыми, базовыми, узловыми, магистральными портами, портами-ступицами или хабами (англ. hub – ступица, концентратор). В них стекается, с одной сто-

© Кириллов Ю.И., 2013

роны, значительная часть грузов трансокеанских (магистральных) маршрутов, с другой – региональных и внутрирегиональных (сухопутных и водных) грузопотоков, т. е. так называемых подпитывающих маршрутов. В свою очередь, региональные и внутрирегиональные судоходные линии, организованные на подпитывающих маршрутах, а также порты отправления данных грузопотоков называют фидерными.

Судоходные компании (СК), работающие в сфере линейных контейнерных перевозок, могут предоставлять:

- магистральный сервис, который предполагает перевозку грузов крупнотоннажными контейнеровозами, работающими на трансокеанских линиях между базовыми портами различных регионов. С целью же последующего фидерного обслуживания магистральных грузопотоков на региональных и внутрирегиональных направлениях компания прибегает к использованию коммерческого фидера. При этом:

а) для устойчивой части грузопотока компания на условиях слот-чартера арендует определенную долю вместимости судов местной линии;

б) для эпизодических грузопотоков фидерный сервис осуществляется по договору морской перевозки;

- фидерный сервис, который заключается в перевозках грузов мало и средне тоннажными судами (Feeder Ship), работающими на фидерных линиях между базовыми (магистральными) и подпитывающими (фидерными) портами соответствующего региона. Компании, организующие подобные линии, осуществляют одновременно фидерное обслуживание грузопотоков нескольких магистральных сервисов, сдавая им в аренду на условиях слот-чартера значительную часть контейнеровместимости своих судов;

- магистрально-фидерный сервис, при организации которого соответствующая судоходная линия включает магистральную и фидерную структурообразующие части и классифицируется как составная [1]. Таким образом, на внутрирегиональные порты с большим объемом грузопотока океанская линия организует собственную систему фидерного обслуживания, поддерживающую постоянный крупный грузопоток в направлении определенного аутпорта. Кроме того, магистрально-фидерная линия может предоставлять услуги по коммерческому фидеру для компаний-партнеров на условиях слот-чартерных соглашений. В случае организации магистрально-фидерного обслуживания грузопотоков, региональный головной офис океанской контейнерной линии устанавливает для портовых агентов базисную тарифную ставку за перевозку 20- и 40-футовых контейнеров (20' и 40' контейнеров) для всех фидерных портов, которые обслуживаются данной компанией в регионах назначения. Эта информация содержится в документе Rate Guideline (RGL), который рассылается агентам линии.

При всех вышеперечисленных разновидностях линейных сервисов возможны различные варианты маршрутизации судов (табл. 1) [1], что должно учитываться при принятии соответствующих локальных реше-

ний, зв'язаних з управлінням роботою судов на магістральній і фідерній частях складної судохідної лінії.

Магістрально-фідерне обслуговування контейнерних грузопотоков на пряму зв'язано з поняттям «траншипмент», которое широко используется в мировой практике торгового мореплавания. Формально траншипмент (англ. trans-shipment of cargo – перевалка) – это перевалка грузов. В зависимости от субъектов рынка транспортных услуг и правовой основы их взаимоотношений данное понятие уточняется и приобретает вполне конкретный юридический смысл:

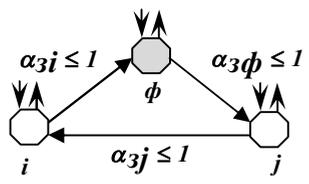
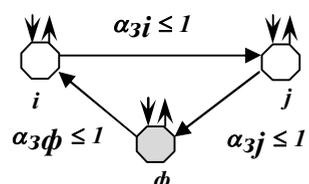
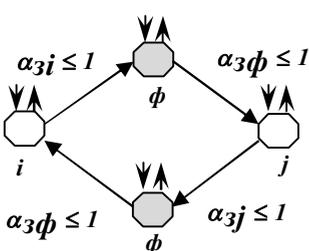
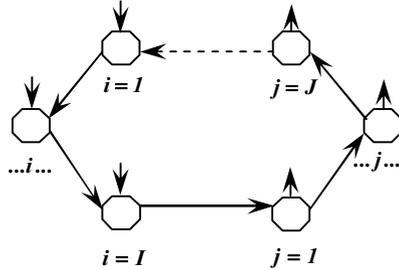
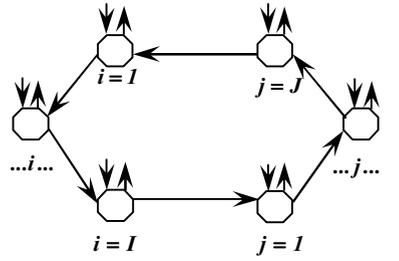
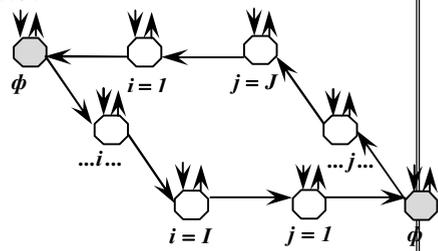
- в отношениях между грузовладельцем и линейным перевозчиком понятие «траншипмент» обозначает условие коносамента, согласно которому морской перевозчик может в любое время и по любой причине выгрузить с судна груз или любую его часть, складировать его на берегу, перегрузить на другое судно, независимо от того, принадлежит оно перевозчику или нет;

Таблица 1

Принципиальные схемы типовых вариантов движения линейных судов при основных видах маршрутизации

№	Маятниковый маршрут	Кольцевой (круговой) маршрут
1.	<p>С прямым и обратным полностью ($\alpha_3 = 1$) или частично ($\alpha_3 < 1$) грузеными переходами</p>	<p>Развосточный кольцевой маршрут</p>
2.	<p>С прямым полностью ($\alpha_3 = 1$) или частично ($\alpha_3 < 1$) грузеным переходом и обратным балластным переходом ($\alpha_3 = 0$)</p>	<p>Сборный кольцевой маршрут</p>

Продолжение табл. 1

3.	<p>С прямым и обратным полностью или частично гружеными переходами и заходом в промежуточный (факультативный) порт за попутным грузом или с целью выгрузки груза, предназначенного на этот порт</p> <p>3.1.</p>  <p>3.2.</p>  <p>3.3.</p> 	<p>Сборно-развозочный кольцевой маршрут</p> <p>3.1.</p>  <p>3.2.</p>  <p>3.3.</p> 
<p>где $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J}$ – порты погрузки / выгрузки; $\phi = \overline{1, \Phi}$ – промежуточный (фидерный) порт; $\alpha_{zi}, \alpha_{zj}, \alpha_{z\phi}$ – коэффициент загрузки судна; \updownarrow – погрузка и, соответственно, выгрузка груза; \rightarrow – переход судна с коммерческой загрузкой; $--\rightarrow$ – балластный переход судна</p>		

- в отношениях между линейным перевозчиком и портом, а точнее органами таможенного контроля, под «таншипментом» понимают режим перевалки контейнеров, при котором они не покидают территорию порта, а при упрощенной форме их таможенного оформления перегружаются с одного судна на другое и следуют в порт назначения. Данный режим перевалки касается только грузов, перемещаемых с применением контейнеров. Однако специфика таншипмента обусловлена не столько видом применяемой единицы транспортного оборудования (контейнера), сколько содержанием операций по ее таможенному оформлению, которое не требует предоставления грузовой таможенной декларации, а ограничивается предъявлением коносамента.

В связи с вышесказанным, очевидно, что возможность перевалки контейнеров в режиме таншипмента является средством привлечения дополнительных грузопотоков и необходимым условием создания и функционирования магистрально-фидерных сервисов в рамках (КТТС).

До недавнего времени понятие «таншипмент» в украинском законодательстве не использовалось, а применение одноименного режима перевалки контейнеров через Украинские порты было невозможным, из-за отсутствия соответствующего правового поля, регулирующего подобные операции. Вместо таншипмента в портах Украины применялся режим обычного транзита [2]. Это значительно усложняло процедуру таможенного контроля и препятствовало реализации высокого транзитного потенциала страны. В связи с этим, фидерное обслуживание грузопотоков в украинских портах было затруднено. Однако в 2010 г. ситуация изменилась. Законом Украины «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо спрощення митного оформлення транзитних вантажів» от 01.06.2010 г. [3] был законодательно закреплен упрощенный порядок прохождения транзитных контейнеров в режиме таншипмента через морские торговые порты Украины. Появилось понятие транзита «мореморе», который был освобожден от необходимости оформления таможенной декларации [4]. И уже в сентябре 2010 г. впервые в Украине режим таншипмента был применен в Одесском морском торговом порту [2]. Таким образом, в настоящее время, когда термин «таншипмент» не только вошел в современный лексикон транспортной отрасли страны, но и получил официальное отражение в Украинском законодательстве, а обработка грузов в одноименном режиме стала применяться на практике, становится актуальным вопрос разработки и внедрения научно-обоснованных теоретических положений и методических рекомендаций, связанных с решением локальных производственных задач магистрально-фидерного обслуживания КТТС. Одной из локальных производственных задач в рамках функционирования КТТС является задача обоснования оптимального распределения контейнеропотоков, идущих в режиме таншипмента, между магистральными и фидерными частями судоходных линий.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы. Информационные источники, относящиеся к вопросам контейнерных перевозок, можно условно разделить на несколько групп:

- работы, ориентированные на условия командно-административной системы управления [5,6,7];

- работы, освещающие специфику контейнерных перевозок и особенности эксплуатации специализированных судов [8,9];

- статьи, содержащие аналитические обзоры, статистические данные о состоянии и перспективах развития рынка контейнерных перевозок в Украине и в мире [10-15];

- работы, отражающие техническую сторону контейнерных перевозок, в частности: в [16] рассмотрен алгоритм выбора рациональных типов контейнеров в системе «контейнер-груз» с использованием метода экспертных оценок; в [17] представлены разработанные автором методы обоснования целесообразности стафирования контейнеров в порту и создания условий повышения эффективности контейнеризованного варианта перевозки груза с его предварительным стафированием в пункте перевалки; в [18] предложена методика оптимизации технико-эксплуатационных параметров судов, входящих в «океанско-фидерную ТТС», с помощью методов геометрического программирования; в [19] освещены методы управления контейнерным терминалом, описаны технологии радиочастотной идентификация контейнеров и тайм-слотирования;

- работы, посвящённые формированию загрузки контейнеровозов [20,21] и обоснованию целесообразности освоения контейнеропотоков в факультативных портах линии [22];

- работы, рассматривающие вопросы оптимизации доставки грузов в контейнерах различными видами транспорта, например: в [23] предложен подход к моделированию портового контейнерного терминала, основанный на представлении его в виде системы массового обслуживания, в которой происходит взаимодействие потока судов с потоком автомашин, выведена и решена система алгебраических уравнений относительно стационарных вероятностей состояний обслуживающей системы при ряде упрощающих предположений, вычислены основные показатели эффективности обслуживания; в [24] представлена вероятностная модель двухмодальной контейнерной системы доставки груза, построенная с помощью методов теории массового обслуживания и описывающая взаимодействие линейного контейнеровоза с потоками автомашин в пунктах погрузки и выгрузки;

- статьи, рассматривающие глобальные вопросы взаимоотношений между участниками рынка контейнерных перевозок, например, оптимизацию прибыли контейнерных перевозчиков – участников стратегических альянсов [25].

Кроме того, в современной транспортной периодике все чаще появляются публикации о внедрении и правовом регулировании системы траншипмента [26-30], без которой организация магистрально-фидерного обслуживания контейнеропотоков затруднительно.

На современном этапе развития КТТС в условиях, когда внедрение системы траншипмента в морских торговых портах Украины стало объективной реальностью, становится актуальным вопрос разработки и внедрения научно-обоснованных теоретических положений и методических рекомендаций по обоснованию распределения грузопотоков при магистрально-фидерном обслуживании КТТС.

Формулировка цели статьи. Целью статьи является повышение эффективности производственной деятельности субъектов рынка транспортных услуг, эксплуатирующих линейный тоннаж, путем разработки теоретических и методических положений по обоснованию оптимального распределения контейнеропотоков, идущих в режиме траншипмента, между магистральными и фидерными частями судоходных линий.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных результатов. Учитывая особенности эксплуатации линейного тоннажа на магистрально-фидерных линиях, а также конструктивные и технико-эксплуатационные характеристики судов-контейнеровозов, содержательная постановка задачи оптимального распределения контейнеропотоков между судами, обслуживающими магистрально-фидерные сообщения, в общем виде формулируется следующим образом.

СК предлагает грузовладельцам множество линейных сервисов $L_i^{CK} = \{1, 2, \dots, \overline{L}, \dots, L^{CK}\}$. Судоходная линия $L \in L_i^{CK}$ является магистрально-фидерной. Магистральная часть линии $L \in L_i^{CK}$ связывает порты-хабы отправления $i = \overline{1; I}$ и назначения $g = \overline{1; G}$. При этом, магистральное направление линии $L \in L_i^{CK}$ обслуживается крупнотоннажными контейнеровозами $b = \overline{1; B}$, которые имеют следующие характеристики:

а) расчетную величину грузоподъемности, которая соответствует условиям эксплуатации судна на данном направлении – $Dч_L^b$ ($L \in L_i^{CK}, b = \overline{1; B}$), т;

б) контейнеровместимость, включая:

- общее количество контейнеров, выраженное в 20`эквиваленте, которое судно способно принять на борт – TEU_L^b ($L = \overline{1; L^{CK}}, b = \overline{1; B}$);

- количество 20`контейнеров – $N_L^{b20'}$ ($L = \overline{1; L^{CK}}, b = \overline{1; B}$);

- количество 40`контейнеров – $N_L^{b40'}$ ($L = \overline{1; L^{CK}}, b = \overline{1; B}$).

В свою очередь, фидерная часть линии $L \in L_l^{CK}$ связывает магистральные порты назначения $g = \overline{1;G}$ океанских грузопотоков с фидерными портами $j = \overline{1;J}$, т. е. магистральные порты назначения $g = \overline{1;G}$ одновременно являются портами отправления контейнеропотоков на фидерные порты $j = \overline{1;J}$.

Перевозки грузов на фидерных направлениях составной линии $L \in L_l^{CK}$ между портами отправления $g = \overline{1;G}$ и назначения $j = \overline{1;J}$ осуществляются мало и средне тоннажными судами $b' = \overline{1;B'}$, которые имеют следующие характеристики:

а) грузоподъемность – $Dч_L^{b'}$ ($L \in L_l^{CK}$, $b' = \overline{1;B'}$), т;
 б) контейнеровместимость, включая:
 - общее количество TEU, которое фидерное судно способно принять на борт – $TEU_L^{b'}$ ($L = \overline{1;L^{CK}}$, $b' = \overline{1;B'}$);

- количество 20`контейнеров – $N_L^{b'20'}$ ($L = \overline{1;L^{CK}}$, $b' = \overline{1;B'}$);

- количество 40`контейнеров – $N_L^{b'40'}$ ($L = \overline{1;L^{CK}}$, $b' = \overline{1;B'}$).

В соответствии с заявками грузовладельцев:

- из магистрального порта $i = \overline{1;I}$ должны быть отправлены контейнеры типоразмера $n \in N = \{10', 20', \dots, n, \dots, N'\}$ партии $r = \overline{1;R}$ в количестве N_i^m . Например: количество 20`контейнеров составляет $N_i^{r20'}$; 40` - $N_i^{r40'}$;

- далее в фидерный порт $j = \overline{1;J}$ должны быть доставлены контейнеры типоразмера $n \in N = \{10', 20', \dots, n, \dots, N'\}$ партии $r = \overline{1;R}$ в количестве N_j^m .

В каждом порту отправления ($i = \overline{1;I}$, $g = \overline{1;G}$) магистрально-фидерной линии агенту выделяется определенный эллотмент (allotment) или квота контейнеровместимости магистрального ($b = \overline{1;B}$) и, соответственно, фидерного ($b' = \overline{1;B'}$) судна в TEU с разбивкой по экспорту ($TEU_i^{\Delta*b}$, $TEU_g^{\Delta*b}$), импорту (TEU_i^{H*b} , TEU_g^{H*b}) и транзиту (TEU_i^{T*b} , TEU_g^{T*b}).

Собственная система магистрально-фидерного обслуживания линии $L \in L_l^{CK}$ предусматривает:

- перевозку контейнеров клиентов данной линии от магистраль-

ного порта отправления $i = \overline{1; I}$ до фидерного порта $j = \overline{1; J}$ через магистральный порт перевалки $g = \overline{1; G}$ по соответствующим заранее установленным тарифным ставкам: f_{igL}^{brm} ; $f_{gjL}^{b'm}$;

- предоставление услуг по коммерческому фидеру, т. е. освоение эпизодических контейнеропотоков только на фидерные порты по тарифной ставке, рассчитанной агентом на основе RGL - $f_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm}$;

- предоставление услуг по магистральному и/или фидерному обслуживанию контейнеропотоков компаний-партнеров по линейному бизнесу на основе слот-чартерных соглашений по соответствующим, заранее установленным и согласованным с участниками договора тарифным ставкам: $f_{igL(c-ч)}^{brm}$; $f_{gjL(c-ч)}^{b'm}$.

Тарифная ставка за перевозку контейнера типоразмера $n \in N$ устанавливается в соответствии с широко применяемой в линейном судоходстве тарифной системой FAK (Freight all kind)¹. В связи с этим, уточним вводимые в задачу обозначения тарифных ставок с целью последующего разукрупнения целевой функции экономико-математической модели:

$f_{igL}^{br20'}$; $f_{igL}^{br40'}$ – тарифные ставки за перевозку 20` и, соответственно, 40` контейнера партии $r = \overline{1; R}$ между базовыми портами отправления $i = \overline{1; I}$ и назначения $g = \overline{1; G}$ составной линии L ;

$f_{gjL}^{b'r20'}$; $f_{gjL}^{b'r40'}$ – тарифные ставки за перевозку 20` и, соответственно, 40` контейнера партии $r = \overline{1; R}$ между базовым портом отправления $g = \overline{1; G}$ и фидерным портом назначения $j = \overline{1; J}$ составной линии L ;

$f_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'}$; $f_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'}$ – тарифные ставки, рассчитываемые агентом на основе RGL, за перевозку 20` и, соответственно, 40` контейнера партии $r = \overline{1; R}$ между базовым портом $g = \overline{1; G}$ и аутпортом $j = \overline{1; J}$ в случае предоставления услуг по коммерческому фидеру при освоении эпизодических грузопотоков;

$f_{igL(c-ч)}^{br20'}$; $f_{igL(c-ч)}^{br40'}$; $f_{gjL(c-ч)}^{b'r20'}$; $f_{gjL(c-ч)}^{b'r40'}$ – тарифные ставки, заранее установленные и согласованные с участниками слот-чартерных соглашений, за перевозку 20` и, соответственно, 40` контейнера партии $r = \overline{1; R}$ на магистральном и фидерном направлениях составной линии L .

¹ На большинстве океанских и региональных контейнерных линиях применяется тарифная система Freight all kind (FAK), в соответствии с которой тарифная ставка устанавливается отдельно за перевозку 20- и 40-футового контейнера, независимо от рода груза

В случае применения иной тарифной системы, например, CBR (Commodity box rate)², при решении данной задачи следует ввести в модель, предлагаемую ниже, дополнительный индекс, учитывающий род перевозимого в контейнере груза.

Необходимо распределить заданное количество контейнеров типоразмера $n \in N$ между судами, которые обслуживают магистрально-фидерные линии СК таким образом, чтобы максимизировать прибыль судовладельца. Учитывая сформулированную выше содержательную постановку задачи, ее экономико-математическая модель, может быть представлена в следующем виде. Целевая функция в общем виде представляет собой линейную функцию, максимизирующую прибыль судовладельца:

$$\begin{aligned}
 Z = & \sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{igL}^{brn} \cdot f_{igL}^{brn} \cdot Y_i^m) + \right. \\
 & \left. + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{gjL}^{b'rn} \cdot f_{gjL}^{b'rn} \cdot Y_j^m) \right] + \\
 & + \left[\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'rn} \cdot f_{gjL(\kappa\phi)}^{b'rn} \cdot Y_j^m) \right] + \\
 & + \left[\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{igL(c-u)}^{brn} \cdot f_{igL(c-u)}^{brn} \cdot Y_i^m) \right] + \\
 & + \left[\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{gjL(c-u)}^{b'rn} \cdot f_{gjL(c-u)}^{b'rn} \cdot Y_j^m) \right] - \\
 & - \sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} R_{igL}^b + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} R_{gjL}^{b'} \right] \rightarrow \max, (1)
 \end{aligned}$$

где x_{igL}^{brn} – количество контейнеров типоразмера n партии r , которые перевозятся судном b между магистральными портами i и g судходной линии L ;

$x_{gjL}^{b'rn}$ – количество контейнеров типоразмера n партии r , которые перевозятся фидерным судном b' между магистральным g и фидерным j портами составной линии L ;

$x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'rn}$ – количество контейнеров типоразмера n партии r , которые перевозятся судном b' при предоставлении линией L услуг коммерческого фидера;

² Commodity box rate (CBR) - контейнерный тариф с учетом рода груза. В этой тарифной системе все грузы разбиты на ограниченное количество классов (5 – 7), для каждого из которых установлена своя величина ставки за перевозку отдельно 20- и 40-футового контейнера

$x_{igL(c-q)}^{brm}$; $x_{gjL(c-q)}^{b'm}$ – количество контейнеров типоразмера n партии r , которые перевозятся на магистральном и, соответственно, фидерном направлениях в рамках слот-чартерных соглашений.

Y_i^m – параметр, который принимает следующие значения: 1, если контейнер типоразмера n партии r заявлен к перевозке в магистральном порту i ; 0, в противном случае;

Y_j^m – параметр, который принимает следующие значения: 1, если портом назначения контейнера типоразмера n партии r является фидерный порт j ; 0, в противном случае;

R_{igL}^b ; $R_{gjL}^{b'}$ – расходы судоходной линии L , при обслуживании соответственно магистрального и фидерного направлений. Статьи расходов, входящие в структуру данных показателей, определяются лицом, принимающим решение.

Целевая функция (1) также может быть записана в следующей интерпретации (2), с учетом наиболее типичных для КТТС грузопотоков, состоящих из 20` и 40` контейнеров:

$$\begin{aligned}
 Z = & \sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{i=1}^G \sum_{g=1}^B \sum_{b=1}^R \sum_{r=1}^R \left(x_{igL}^{br20'} \cdot f_{igL}^{br20'} \cdot Y_i^{r20'} + x_{igL}^{br40'} \cdot f_{igL}^{br40'} \cdot Y_i^{r40'} \right) + \right. \\
 & \left. + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \left(x_{gjL}^{b'r20'} \cdot f_{gjL}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} + x_{gjL}^{b'r40'} \cdot f_{gjL}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \right) \right] + \\
 & + \left[\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \left(x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'} \cdot f_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'} \cdot f_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \right) \right] + \\
 & + \left[\sum_{i=1}^G \sum_{g=1}^B \sum_{b=1}^R \sum_{r=1}^R \left(x_{igL(c-q)}^{br20'} \cdot f_{igL(c-q)}^{br20'} \cdot Y_i^{r20'} + x_{igL(c-q)}^{br40'} \cdot f_{igL(c-q)}^{br40'} \cdot Y_i^{r40'} \right) \right] + \\
 & + \left[\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \left(x_{gjL(c-q)}^{b'r20'} \cdot f_{gjL(c-q)}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} + x_{gjL(c-q)}^{b'r40'} \cdot f_{gjL(c-q)}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \right) \right] - \\
 & - \sum_{L=1}^{LCK} \left[\left[\sum_{i=1}^G \sum_{g=1}^B \sum_{b=1}^R \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} R_{igL}^b + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} R_{gjL}^{b'} \right] \right] \rightarrow \max, \quad (2)
 \end{aligned}$$

где $x_{igL}^{br20'}$; $x_{igL}^{br40'}$ – количество 20` и 40` контейнеров партии r , соответственно, которые перевозятся судном b между i -м и g -м магистральными портами линии L ;

$x_{gjL}^{b'r20'}$; $x_{gjL}^{b'r40'}$ – количество 20` и 40` контейнеров партии r , соответственно, которые перевозятся фидерным судном b' между g -м магистральным и j -м фидерным портами составной линии L ;

$Y_i^{r20'}$; $Y_i^{r40'}$ – параметри, которые принимают следующие значения: 1, если 20` и 40` контейнеры, соответственно, партии r заявлены к перевозке в магистральном порту i ; 0, в противном случае;

$Y_j^{r20'}$; $Y_j^{r40'}$ – параметри, которые принимают следующие значения: 1, если портом назначения 20` и 40` контейнеров, соответственно, партии r является фидерный порт j ; 0, в противном случае;

$X_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'}$; $X_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'}$ – количество 20` и 40` контейнеров партии r , соответственно, которые перевозятся фидерным судном b' между магистральным g и фидерным j портами составной линии L , предоставляющей услуги по коммерческому фидеру;

$X_{igL(c-u)}^{br20'}$; $X_{igL(c-u)}^{br40'}$ – количество 20` и 40` контейнеров партии r , соответственно, которые перевозятся судном b между магистральными портами i и g линии L , предоставляющей услуги по магистральному обслуживанию контейнеропотоков компаний-партнеров по линейному бизнесу на основе слот-чартерных соглашений между ними;

$X_{gjL(c-u)}^{b'r20'}$; $X_{gjL(c-u)}^{b'r40'}$ – количество 20` и 40` контейнеров партии r , соответственно, которые перевозятся судном b' между магистральным портом g и аутпортом j линии L , предоставляющей услуги по фидерному обслуживанию контейнеропотоков компаний-партнеров на основе слот-чартерных соглашений между ними.

Для реализации сформулированной выше задачи необходимо последовательно формализовать ее ограничительные условия.

Количество контейнеров, погруженных в каждом порту линии, не должно превышать значения эллотмента (allotment), выделенного агенту в данном порту, с разбивкой по экспорту, импорту и транзиту. В связи с этим в экономико-математическую модель вводятся ограничения (3)-(8):

для магистрального направления:
по экспорту

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \left(x_{igL}^{brn} \cdot \Theta_i^{rn} \cdot K_i^{\Theta^*b} \right) + \left(x_{igL(c-u)}^{brn} \cdot \Theta_i^{rn} \cdot K_i^{\Theta^*b} \right) \right] \leq TEU_i^{\Theta^*b} \quad (3)$$

или

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \Theta_i^{rn} \cdot K_i^{\Theta^*b} \cdot \left(x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-u)}^{brn} \right) \right] \leq TEU_i^{\Theta^*b}$$

$$(b = \overline{1, B}; i = \overline{1, I});$$

по импорту

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \left(x_{igL}^{brn} \cdot I_i^{rn} \cdot K_i^{H*b} \right) + \left(x_{igL(c-q)}^{brn} \cdot I_i^{rn} \cdot K_i^{H*b} \right) \right] \leq TEU_i^{H*b} \quad (4)$$

ИЛИ

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} I_i^{rn} \cdot K_i^{H*b} \cdot \left(x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-q)}^{brn} \right) \right] \leq TEU_i^{H*b}$$

$(b = \overline{1, B}; i = \overline{1, I});$

по транзиту

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \left(x_{igL}^{brn} \cdot T_i^{rn} \cdot K_i^{T*b} \right) + \left(x_{igL(c-q)}^{brn} \cdot T_i^{rn} \cdot K_i^{T*b} \right) \right] \leq TEU_i^{T*b} \quad (5)$$

ИЛИ

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} T_i^{rn} \cdot K_i^{T*b} \cdot \left(x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-q)}^{brn} \right) \right] \leq TEU_i^{T*b}$$

$(b = \overline{1, B}; i = \overline{1, I});$

для фидерного направления:

по экспорту

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \left(x_{gjl}^{b'rn} \cdot \mathcal{E}_g^{rn} \cdot K_g^{\mathcal{E}*b'} \right) + \left(x_{gjl(\kappa\phi)}^{b'rn} \cdot \mathcal{E}_g^{rn} \cdot K_g^{\mathcal{E}*b'} \right) + \right. \\ \left. + \left(x_{gjl(c-q)}^{b'rn} \cdot \mathcal{E}_g^{rn} \cdot K_g^{\mathcal{E}*b'} \right) \right] \leq TEU_g^{\mathcal{E}*b'} \quad (6)$$

ИЛИ

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \mathcal{E}_g^{rn} \cdot K_g^{\mathcal{E}*b'} \cdot \left(x_{gjl}^{b'rn} + x_{gjl(\kappa\phi)}^{b'rn} + x_{gjl(c-q)}^{b'rn} \right) \right] \leq TEU_g^{\mathcal{E}*b'}$$

$(b' = \overline{1, B'}; g = \overline{1, G});$

по импорту

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \left(x_{gjl}^{b'rn} \cdot I_g^{rn} \cdot K_g^{H*b'} \right) + \left(x_{gjl(\kappa\phi)}^{b'rn} \cdot I_g^{rn} \cdot K_g^{H*b'} \right) + \right. \\ \left. + \left(x_{gjl(c-q)}^{b'rn} \cdot I_g^{rn} \cdot K_g^{H*b'} \right) \right] \leq TEU_g^{H*b'} \quad (7)$$

или

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} I_g^m \cdot K_g^{I^*b'} \cdot (x_{gjl}^{b'm} + x_{gjl(\kappa\phi)}^{b'm} + x_{gjl(c-\psi)}^{b'm}) \right] \leq TEU_g^{I^*b'}$$

$$(b' = \overline{1, B'}; g = \overline{1, G});$$

по транзиту

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{gjl}^{b'm} \cdot T_g^m \cdot K_g^{T^*b'}) + (x_{gjl(\kappa\phi)}^{b'm} \cdot T_g^m \cdot K_g^{T^*b'}) + (x_{gjl(c-\psi)}^{b'm} \cdot T_g^m \cdot K_g^{T^*b'}) \right] \leq TEU_g^{T^*b'} \quad (8)$$

или

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} T_g^m \cdot K_g^{T^*b'} \cdot (x_{gjl}^{b'm} + x_{gjl(\kappa\phi)}^{b'm} + x_{gjl(c-\psi)}^{b'm}) \right] \leq TEU_g^{T^*b'}$$

$$(b' = \overline{1, B'}; g = \overline{1, G}),$$

где $\Xi_i^m, I_i^m, T_i^m (\Xi_g^m, I_g^m, T_g^m)$ – параметры, которые принимают следующие значения: 1, если контейнер типоразмера n партии r , забронированный для перевозки в магистральном направлении из порта i (в фидерном направлении из порта g), относится, соответственно, к экспортному, импортному или транзитному грузопотоку; 0, в противном случае;

$K_i^{\Xi^*b}, K_i^{I^*b}, K_i^{T^*b} (K_g^{\Xi^*b'}, K_g^{I^*b'}, K_g^{T^*b'})$ – параметры, которые принимают следующие значения: 1, если судно b (b') в соответствии с соглашением линейного объединения (конференции) может осваивать, соответственно, экспортный, импортный и/или транзитный грузопоток в магистральном (фидерном) направлении; 0, в противном случае;

Группа ограничений (9)–(11) по вывозу всех грузов, забукированных и забронированных к погрузке на судно в магистральном порту i составной линии, представляется следующим образом:

в общем виде

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B (x_{igl}^{brn} \cdot Y_i^m) + (x_{igl(c-\psi)}^{brn} \cdot Y_i^m) \right] = N_i^m \quad (9)$$

или
$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B Y_i^m \cdot (x_{igl}^{brn} + x_{igl(c-\psi)}^{brn}) \right] = N_i^m \quad (n \in N; r = \overline{1, R}; i = \overline{1, I}).$$

по количеству 20 контейнеров

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B (x_{igl}^{br20'} \cdot Y_i^{r20'} \cdot Z^{20'}) + (x_{igl(c-\psi)}^{br20'} \cdot Y_i^{r20'} \cdot Z^{20'}) \right] = N_i^{r20'}, \quad (10)$$

или
$$\sum_{L=1}^{L^{CK}} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B Y_i^{r20'} \cdot Z^{20'} \cdot (x_{igL}^{br20'} + x_{igL(c-u)}^{br20'}) \right] = N_i^{r20'} ;$$

по количеству 40`контейнеров

$$\sum_{L=1}^{L^{CK}} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B (x_{igL}^{br40'} \cdot Y_i^{r40'} \cdot Z^{40'}) + (x_{igL(c-u)}^{br40'} \cdot Y_i^{r40'} \cdot Z^{40'}) \right] = N_i^{r40'} , (11)$$

или
$$\sum_{L=1}^{L^{CK}} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B Y_i^{r40'} \cdot Z^{40'} \cdot (x_{igL}^{br40'} + x_{igL(c-u)}^{br40'}) \right] = N_i^{r40'} .$$

Группа ограничений (12)–(14) по удовлетворению спроса в фидерном порту j составной линии:

в общем виде

$$\sum_{L=1}^{L^{CK}} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b'=1}^{B'} (x_{gjL}^{b'm} \cdot Y_j^m) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} \cdot Y_j^m) + (x_{gjL(c-u)}^{b'm} \cdot Y_j^m) \right] = N_j^m (12)$$

или

$$\sum_{L=1}^{L^{CK}} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b'=1}^{B'} Y_j^m \cdot (x_{gjL}^{b'm} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} + x_{gjL(c-u)}^{b'm}) \right] = N_j^m$$

$$(n \in N ; r = \overline{1, R} ; j = \overline{1, J}) ;$$

по количеству 20`контейнеров

$$\sum_{L=1}^{L^{CK}} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b'=1}^{B'} (x_{gjL}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'}) + (x_{gjL(c-u)}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'}) \right] = N_j^{r20'} (13)$$

или
$$\sum_{L=1}^{L^{CK}} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b'=1}^{B'} Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'} \cdot (x_{gjL}^{b'r20'} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'} + x_{gjL(c-u)}^{b'r20'}) \right] = N_j^{r20'} ;$$

по количеству 40`контейнеров

$$\sum_{L=1}^{L^{CK}} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b'=1}^{B'} (x_{gjL}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'}) + (x_{gjL(c-u)}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'}) \right] = N_j^{r40'} (14)$$

$$\text{или } \sum_{L=1}^{L^{CK}} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b'=1}^{B'} Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'} \cdot (x_{gjL}^{b'r40'} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'} + x_{gjL(c-ч)}^{b'r40'}) \right] = N_j^{r40'}$$

Группа ограничений (15)-(17) по контейнеровместимости судов, обслуживающих магистральную часть составной линии:
 по количеству TEU

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{N'} (x_{igL}^{brn} \cdot Y_i^m \cdot k_n^{TEU}) + (x_{igL(c-ч)}^{brn} \cdot Y_i^m \cdot k_n^{TEU}) \leq TEU_L^b \quad (15)$$

$$(L = \overline{1, L^{CK}}; b = \overline{1, B}),$$

где k_n^{TEU} – коэффициент перевода фактического количества контейнеров типоразмера $n \in N$ в 20`эквивалент (TEU);
 по количеству 20`контейнеров

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R (x_{igL}^{brn} \cdot Y_i^{r20'} \cdot Z^{20'}) + (x_{igL(c-ч)}^{brn} \cdot Y_i^{r20'} \cdot Z^{20'}) \leq N_L^{b20'} \quad (16)$$

или

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R Y_i^{r20'} \cdot Z^{20'} \cdot (x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-ч)}^{brn}) \leq N_L^{b20'}$$

$$(L = \overline{1, L^{CK}}, b = \overline{1, B});$$

по количеству 40`контейнеров

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R (x_{igL}^{brn} \cdot Y_i^{r40'} \cdot Z^{40'}) + (x_{igL(c-ч)}^{brn} \cdot Y_i^{r40'} \cdot Z^{40'}) \leq N_L^{b40'} \quad (17)$$

или

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R Y_i^{r40'} \cdot Z^{40'} \cdot (x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-ч)}^{brn}) \leq N_L^{b40'} \quad (L = \overline{1, L^{CK}}; b = \overline{1, B}),$$

где $Z^{20'}$; $Z^{40'}$ – параметры, которые определяются следующим образом:
 1, если грузовое место является 20` и 40` контейнером, соответственно;
 0 – в противном случае.

Группа ограничений (18)-(20) по контейнеровместимости судов, обслуживающих фидерную часть составной линии:
 по количеству TEU

$$\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{N'} (x_{gjL}^{b'rm} \cdot Y_j^m \cdot k_n^{TEU}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'rm} \cdot Y_j^m \cdot k_n^{TEU}) +$$

$$+ (x_{gjL(c-ч)}^{b'rm} \cdot Y_j^m \cdot k_n^{TEU}) \leq TEU_L^b, \quad (18)$$

или

$$\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} Y_j^m \cdot k_n^{TEU} \cdot (x_{gjL}^{b'rn} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'rn} + x_{gjL(c-u)}^{b'rn}) \leq TEU_L^{b'}$$

$$(L = \overline{1, L^{CK}}; b' = \overline{1, B'});$$

по количеству 20`контейнеров

$$\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R (x_{gjL}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'}) +$$

$$+ (x_{gjL(c-u)}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'}) \leq N_L^{b'20'}, \quad (19)$$

или $\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'} \cdot (x_{gjL}^{b'r20'} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'} + x_{gjL(c-u)}^{b'r20'}) \leq N_L^{b'20'};$

по количеству 40`контейнеров

$$\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R (x_{gjL}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'}) +$$

$$+ (x_{gjL(c-u)}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'}) \leq N_L^{b'40'}, \quad (20)$$

или $\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'} \cdot (x_{gjL}^{b'r40'} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'} + x_{gjL(c-u)}^{b'r40'}) \leq N_L^{b'40'}.$

Ограничение (21) по грузоподъёмности судов, обслуживающих магистральную часть составной линии

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{igL}^{brn} \cdot Y_i^m \cdot q_{igL}^{brn}) + (x_{igL(c-u)}^{brn} \cdot Y_i^m \cdot q_{igL}^{brn}) \leq Dq_L^b \quad (21)$$

или

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} Y_i^m \cdot q_{igL}^{brn} \cdot (x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-u)}^{brn}) \leq Dq_L^b (L = \overline{1, L^{CK}}; b = \overline{1, B}).$$

Ограничение (22) по грузоподъёмности судов, обслуживающих фидерную часть составной линии

$$\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{gjL}^{b'rn} \cdot Y_j^m \cdot q_{gjL}^{b'rn}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'rn} \cdot Y_j^m \cdot q_{gjL}^{b'rn}) +$$

$$+ (x_{gjL(c-u)}^{b'rn} \cdot Y_j^m \cdot q_{gjL}^{b'rn}) \leq Dq_L^{b'}, \quad (22)$$

или

$$\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} Y_j^{rn} \cdot q_{gjL}^{b'm} \cdot (x_{gjL}^{b'm} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} + x_{gjL(c-u)}^{b'm}) \leq D\varphi_L^{b'}$$

$$(L = \overline{1, L^{CK}}; b' = \overline{1, B'}),$$

где $q_{gjL}^{b'm}$, $q_{gjL}^{b'm}$ – средневзвешенная масса контейнеров типоразмера n партии r , которые перевозятся судами b и b' на магистральном ($i-g$) и, соответственно, фидерном ($g-j$) направлениях судоходной линии L .

Ограничение (23) по использованию площадей контейнерного терминала по прибытию контейнеров, доставленных судами линии L в магистральный порт назначения g

$$\sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{igL}^{bm} \cdot Y_i^{rn}) + (x_{igL(c-u)}^{bm} \cdot Y_i^{rn}) \leq d_{gL}^{TEU} \quad (23)$$

или $\sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} Y_i^{rn} \cdot (x_{igL}^{bm} + x_{igL(c-u)}^{bm}) \leq d_{gL}^{TEU} \quad (L = \overline{1, L^{CK}}; g = \overline{1, G}).$

Ограничение (24) по использованию площадей контейнерного терминала по отправлению контейнеров, идущих в режиме транзитива из магистрального в фидерный порт назначения

$$\sum_{j=1}^J \sum_{b=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{gjL}^{b'm} \cdot Y_j^{rn}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} \cdot Y_j^{rn}) + (x_{gjL(c-u)}^{b'm} \cdot Y_j^{rn}) \leq d_{gL}^{TEU} \quad (24)$$

или

$$\sum_{j=1}^J \sum_{b=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} Y_j^{rn} \cdot (x_{gjL}^{b'm} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} + x_{gjL(c-u)}^{b'm}) \leq d_{gL}^{TEU}$$

$$(L = \overline{1, L^{CK}}; g = \overline{1, G}),$$

где d_{gL}^{TEU} – пропускная способность контейнерного терминала в магистральном порту g , обслуживаемом линией L , TEU .

Ограничения (25)–(31) накладываются на параметры управления экономико-математической модели.

Условия неотрицательности переменных (25), (26)

$$x_{igL}^{bm} \geq 0; x_{igL(c-u)}^{bm} \geq 0 \quad (25)$$

$$(n \in N; r = \overline{1, R}; b = \overline{1, B}; L \in L_l^{CK}; i = \overline{1, I}; g = \overline{1, G});$$

$$x_{\overline{g}jL}^{b'rn} \geq 0; x_{\overline{g}jL(\kappa\phi)}^{b'rn} \geq 0; x_{\overline{g}jL(\zeta-\psi)}^{b'rn} \geq 0 \quad (26)$$

$(n \in N; r = \overline{1, R}; b' = \overline{1, B'}; L \in L_l^{CK}; g = \overline{1, G}; j = \overline{1, J}).$

Условия целочисленности переменных (27), (28)

$$x_{\overline{i}gL}^{brn} = 1, 2, \dots, K; x_{\overline{i}gL(\zeta-\psi)}^{brn} = 1, 2, \dots, K \quad (27)$$

$(n \in N; r = \overline{1, R}; b = \overline{1, B}; L \in L_l^{CK}; i = \overline{1, I}; g = \overline{1, G});$

$$x_{\overline{g}jL}^{b'rn} = 1, 2, \dots, K; x_{\overline{g}jL(\kappa\phi)}^{b'rn} = 1, 2, \dots, K; x_{\overline{g}jL(\zeta-\psi)}^{b'rn} = 1, 2, \dots, K \quad (28)$$

$(n \in N; r = \overline{1, R}; b' = \overline{1, B'}; L \in L_l^{CK}; g = \overline{1, G}; j = \overline{1, J}).$

Ограничение (29) характеризует недоиспользование площадей контейнерных терминалов в портах перевалки

$$x_{\overline{g}gL}^{brn} \geq 0 \quad (29)$$

$(n \in N; r = \overline{1, R}; b = \overline{1, B}; L \in L_l^{CK}; g = \overline{1, G}).$

Условие (30) отражает связи каждого контейнерного терминала с самим собой. Поскольку эти связи не могут иметь место на практике, то и переменная, которая обуславливает эти связи, должна принимать значение 0

$$x_{\overline{g}gL}^{brn} = 0 \quad (30)$$

$(n \in N; r = \overline{1, R}; b = \overline{1, B}; L \in L_l^{CK}; g \neq \overline{1, G}; g = \overline{1, G}).$

Условия (31) запрещают прямую доставку контейнеров судами b из магистрального порта отправления i в фидерный порт j линии L

$$x_{\overline{i}jL}^{brn} = 0; x_{\overline{i}jL(\zeta-\psi)}^{brn} = 0 \quad (31)$$

$(n \in N; r = \overline{1, R}; b = \overline{1, B}; L \in L_l^{CK}; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}).$

Выводы

1. В процессе проведенного исследования сформулирована содержательная постановка задачи обоснования оптимального распределения контейнеропотоков между судами, привлеченными к магистрально-фидерному обслуживанию грузопотоков в контейнерной ТТС, разработана

её экономико-математическая модель (1)-(31), требующая целочисленного решения.

2. Разработанная экономико-математическая модель (1)-(31), относится к классу распределительных задач линейного программирования со смешанными условиями.

3. Представленную экономико-математическую модель (1)-(31) следует реализовывать отдельно для прямого и обратного направлений работы линейных судов. При этом следует учитывать, что при решении задачи для обратного направления пунктами отправления становятся фидерные порты, а конечными пунктами назначения – магистральные порты;

4. Экономико-математическая модель (1)-(31) применима:

- для всех вариантов маятниковых маршрутов (табл. 1) движения магистральных и фидерных судов;

- для кругового развозочного, сборочного и варианта 3.1 сборно-развозочно маршрутов (табл. 1). Для вариантов 3.2 и 3.3 сборно-развозочного маршрутов требуется модификация экономико-математической модели (1)-(31);

- для распределения грузопотоков между судами одной судоходной компании;

- для распределения грузопотоков между судами компаний, входящих в состав объединения (конференции, альянса). При этом введение в экономико-математическую модель индекса, отражающего компанию, входящую в состав объединения, не является обязательным. Необходимым и достаточным условием при решении подобной задачи является наличие индекса, обозначающего конкретное судно-контейнеровоз, юридическая принадлежность которого известна соответствующим лицам и не требует их уточнения, обеспечивая строгую конфиденциальность информации. Кроме того необходимо условие, отражающее долю участия судна каждой компании в общем объеме перевозок в соответствии с соглашением, заключённым с объединением. Данное условие описывают ограничения (3)-(8).

5. Экономико-математическая модель (1)-(31) имеет прикладное значение для служб эксплуатации судоходных компаний, линейных агентов, логистических провайдеров и мультимодальных транспортных операторов в части принятия управленческих решений на этапах планирования и оперативного регулирования трансокеанских и фидерных перевозок грузов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириллов Ю. И. Обоснование классификационной принадлежности морских грузовых линий / Ю.И. Кириллов // Проблемы техники: Научно-производственный журнал. – Одеса: ОНМУ, 2010. – Вып. 1. – С. 69-77.

2. Васьков Ю. Траншипмент играет важную роль в борьбе за транзит [Электронный ресурс] / Ю. Васьков // Центр транспортных стратегий. – Режим доступа: <http://cfts.org.ua/opinions/40833>
3. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо спрощення митного оформлення транзитних вантажів : Закон України від 01.06.2010 р. // Відомості Верховної Ради України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2010. – № 30. – Ст. 400.
4. Венгрук Анатолий. Траншипмент ускоряет перевозки товаров [Электронный ресурс] : обзор результатов пятого международного «Черноморского контейнерного саммита 2011» / Анатолий Венгрук // Митна справа, – 2011. – № 5 (77). – С. 56-61. – Режим доступа: http://www.nbuuv.gov.ua/portal/socgum/ms/2011_5/56.pdf.
5. Контейнерная транспортная система / Под ред. А.Т. Дерибаса. – М.: Транспорт, 1974. – 432 с.
6. Клименко К.Н. Контейнерные и пакетные перевозки: организация и технология перевозок на морском транспорте / К.Н. Клименко. – М.: Транспорт, 1978. – 192 с.
7. Козлов Ю.Т. Автоматизация управления контейнерными перевозками / Ю.Т. Козлов. – М.: Транспорт, 1984. – 191 с.
8. Саркисов С.В. Контейнерные перевозки в капиталистических странах / С.В. Саркисов. – М.: Транспорт, 1991. – 161 с.
9. Снопков В.И. Эксплуатация специализированных судов / В.И. Снопков. – М.: Транспорт, 1987. – 287 с.
10. Савельева И.В. Перспективы развития контейнерного производства в Украине / И.В. Савельева // Развитие методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Одеса: ОДМУ, 2001. – Вип. 10. – С. 113-129.
11. Шибяев О.Г. Морська індустрія й глобальна економічна криза / О.Г. Шибяев, Ю.І. Кириллов / Зб. наук. праць по матеріалам міжнародної науково-технічної конференції кафедр Української державної академії та спеціалістів залізничного транс-порту і підприємств. – Харків: УкрДАЗТу, 2009. – С.
12. Сахно А.А. Рынок контейнерных перевозок в условиях экономического кризиса / А.А. Сахно // Развитие методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2010. – Вип. 31. – С. 214- 227.
13. Кириллов Ю.И. Состояние рынка контейнерного тоннажа / Ю.И. Кириллов // Сб. научн. трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований `2011». Том 1. Транспорт. – Одесса: Черноморье, 2011. – С. 63-65.

14. Галаевская Д.В. Роль контейнерных перевозок в развитии портовой деятельности Украины / Д.В. Галаевская // Развитие методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вип. 37. – С. 35-46.
15. Савельева И.В. Эконометрические модели прогнозирования контейнерных перевозок через порты Украины / И.В. Савельева // Развитие методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2010. – Вип. 32. – С. 5-24.
16. Базовой Н.Г. Экспертная оценка приоритетности типа контейнера в системе «контейнер-груз» / Н.Г. Базовой // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2008. – Вип.14. – С. 208-220.
17. Макушев П.А. Совершенствование организации стафирования контейнеров в порту / П.А. Макушев // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2008. – Вип.14. – С. 196-207.
18. Курлянд А.М. Метод оптимизации параметров судов, обеспечивающих океанско-фидерную систему доставки груза / А.М. Курлянд, М.Я. Постан, И.В. Савельева // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2010. – Вип.16. – С. 7-17.
19. Щербина В.В. Вдосконалення методів управління контейнерним терміналом / В.В. Щербина // Развитие методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вип. 37. – С. 24-34.
20. Шибаев А.Г. Моделирование загрузки контейнеровоза на линии / А.Г. Шибаев, Ю.И. Кириллов // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2008. – Вип. 25. – С. 134-145.
21. Кириллов Ю.И. Оптимизация загрузки контейнеровоза на линии / Ю.И. Кириллов // Сб. научн. трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения науке, транспорте, производстве и образовании, 2008». Том 1. Транспорт, Туризм и рекреация. – Одесса: Черноморье, 2008. – С. 10-15.
22. Кириллов Ю.И. Целесообразность освоения контейнерных грузопотоков в факультативных портах линии / Ю.И. Кириллов, Е.В. Кириллова // Судовождение: Сб. научн. трудов. – Одесса: ИздатИнформ, 2007. – Вип. 14. – С. 44-50.
23. Савельева И.В. Об одной вероятностной модели функционирования контейнерного терминала / И.В. Савельева // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вип.17. – С. 160-174.

24. *Постан М.Я. Моделирование работы двухмодальной контейнерной системы доставки груза в условиях неопределенности и риска / М.Я. Постан, И.В. Савельева // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вип. 19. – С. 55-73.*
25. *Холоденко А.М. Оптимизация прибыли контейнерных перевозчиков – участников глобальных стратегических альянсов / А.М. Холоденко, В.В. Щербина // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2006. – Вип. 11. С. 120-130.*
26. *Кравченко О.А. Вибір пріоритетних напрямків організаційного розвитку морських торговельних портів України в умовах глобалізації світової економіки / О.А. Кравченко, Ю.А. Стребко // Праці Одеського політехнічного університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОПУ, 2011. – Вип. 2 (36). – С. 284-289.*
27. *Альошинський Є.С. Оптимізація процесу виконання митних операцій на припортових пунктах переробки міжнародних контейнерних вантажів / Є.С. Альошинський // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: Науково-технічний журнал. – Харків: Українська державна академія залізничного транспорту, 2008. – Вип. 3. – С. 3-7.*
28. *Додін Є.В. Митне регулювання транзитного транспорту / Є.В. Додін // Митна справа: Науково-аналітичний журнал. – Львів, 2010. – Вип. 6 (72). – С. 26-31.*
29. *Мачкур Н. Формування системи транзитного транспорту і перспективи його розвитку / Н. Мачкур // Митна справа: Науково-аналітичний журнал. – Львів, 2012. – Вип. 1(79). – С. 40-45.*
30. *Вороний В.И. Перспективы оптимизации таможенного регулирования транзитного транспорта в портах Украины / В.И. Вороний // Митна справа: Науково-аналітичний журнал. – Львів, 2009. – № 6 (66). – С. 48-51.*

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

УДК 629.5.015.4

В.В. Аврамов

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ
ПРЕДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСОВ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ
С РЕКОМЕНДАЦИЯМИ МАКО 2006 г.**

Выполнен сравнительный анализ традиционных методов оценки предельной прочности корпусов транспортных судов с рекомендациями МАКО 2006 г. Изложены рекомендации, позволяющие качественно улучшить методику расчета предельного пластического изгибающего момента.

Ключевые слова: *общая продольная прочность, предельная пластическая прочность корпусов судов, метод прогрессирующего разрушения.*

Виконано порівняльний аналіз традиційних методів оцінки граничної міцності корпусів транспортних суден з рекомендаціями МАКО 2006р. Викладено рекомендації, що дозволяють якісно поліпшити методику розрахунку граничного пластичного згинального моменту.

Ключові слова: *загальна поздовжня міцність, гранична пластична міцність корпусів суден, метод прогресуючого руйнування.*

A comparative analysis of the traditional methods for the ultimate hull strength transport vessels with recommendations IACS 2006 are present. The recommendations, allowing qualitatively improve the methodology of calculation of the limit of the plastic bending moment are given.

Keywords: *general longitudinal strength, the ultimate hull strength, a progressive analyses method.*

Постановка проблемы. Проблема оценки общей предельной прочности корпусов судов не потеряла своей актуальности по настоящее время и, в равной степени, касается, как речных грузовых судов (несамоходные и самоходные баржи), так и морских (балкеры, танкеры). Нелинейный характер зависимости изгибающего момента от кривизны может обусловить при неоднократном нагружении моментом, близким к предельному, во-первых, снижение значения самого предельного момента и, во-вторых, значительные остаточные прогибы корпуса. Поэтому, предельным пластическим изгибающим моментом (ППИМ) $M_{\text{пр}}$ будем называть максимальный изгибающий момент, который способен воспринять корпус судна, без возникновения общего остаточного прогиба / перегиба.

Целью данной работы, является сравнение отечественного метода оценки ППИМ, рекомендуемого Правилами, с одним из наиболее распространенных, в иностранной практике, методов, известном, как анализ прогрессивного разрушения.

Изложение основного материала. В отечественной практике, со времен принятия Стандартов прочности, основные теоретические предпосылки для оценки предельной прочности корпуса судна по предельному пластическому моменту, остаются неизменными и выражаются в следующем:

а) распределение напряжений в поперечном сечении корпуса судна соответствует гипотезе плоских сечений по напряжениям;

б) предельное состояние эквивалентного бруса (ЭБ) рассматривается при действии фибрового момента M_{ϕ}^{MIN} , когда в наиболее удаленном пояске ЭБ возникают напряжения равные пределу текучести;

в) напряжения равные пределу текучести возникают только в жестких связях крайнего пояска ЭБ, к которым относятся все продольные ребра и балки с присоединенными поясками;

г) потерявшая устойчивость пластина способна нести сжимающую нагрузку равную критической;

д) ребра жесткости с критическими напряжениями, удовлетворяющими условию $\sigma_{кр} > 2,6\sigma_T$, не подлежат редуцированию.

Эволюция Правил Российского Морского Регистра судоходства (РМРС) в разделе, касающемся определения ППИМ, касалась в основном уточнения методики определения редуцированных коэффициентов. В Правилах Российского Речного Регистра (РРР), учитывая более жесткие условия эксплуатации речных судов, по сравнению с морскими, было дополнительно введено редуцирование растянутых пластин ЭБ при поперечной системе набора.

В иностранной практике широкое распространение получил метод прогрессивного анализа, называемый также методом Смита (Smith C.S.). Основная идея этого метода - учет уменьшения несущей способности отдельных элементов после достижения ими предельной нагрузки, а также временной задержки при разрушении отдельных элементов.

Согласно методу Смита, поведение корпуса при действии вертикального момента может быть предсказано следующим образом:

а) осевая жесткость отдельного элемента описывается зависимостью средних напряжений от средних деформаций $\sigma_X = f(\varepsilon_X)$, полученными по МКЭ;

б) изгибная жесткость поперечного сечения корпуса оценивается с использованием осевой жесткости составляющих его элементов;

в) вертикальная кривизна корпуса судна ϕ увеличивается постепенно в предположении, что распределение деформаций в сечении соответствует гипотезе плоских сечений и изгиб происходит относительно

мгновенной нейтральной оси (НО), положение которой меняется с изменением кривизны;

г) оценивается соответствующее приращение изгибающего момента, деформаций и напряжений в составных элементах;

д) приращение кривизны, изгибающих моментов, деформаций и напряжений суммируется по всему поперечному сечению для получения их совокупной величины и представления ее в графическом виде $M_{\text{пр}} = f(\phi)$.

Метод Смита в упрощенном варианте применяется в Правилах различных классификационных обществ, а также в рекомендациях МАКО, начиная с 2006 г. Основное отличие упрощенных методик от метода Смита состоит в получении кривых $\sigma_X = f(\varepsilon_X)$ без использования МКЭ, часто по эмпирическим формулам, полученным после обработки результатов натуральных и численных экспериментов.

Существенные различия отечественной методики и западной, начинающиеся от различий в представлении эквивалентного бруса и заканчивающиеся поведением его составляющих, приводят к существенным различиям в полученных результатах. В табл.1 приведены результаты расчета ППИМ для большого балкера [1, 2], имеющего продольную систему набора (рис.1, табл.1).

Таблица 1

Составные элементы эквивалентного бруса

Номер р/ж	Тип и размеры р/ж	σт, МПа	Номер р/ж	Тип и размеры р/ж	σт, МПа
1	Полоса 390 x 27 мм	392,0	8	Тавр 283 x 9 / 100 x 17 мм	352,8
2	Тавр 333 x 9 / 100 x 16 мм	352,8	9	Тавр 333 x 9 / 100 x 18 мм	352,8
3	Тавр 283 x 9 / 100 x 14 мм	352,8	10	Тавр 333 x 9 / 100 x 19 мм	352,8
4	Тавр 283 x 9 / 100 x 18 мм	352,8	11	Тавр 383 x 9 / 100 x 17 мм	352,8
5	Тавр 333 x 9 / 100 x 17 мм	352,8	12	Тавр 383 x 10 / 100 x 18 мм	352,8
6	Тавр 283 x 9 / 100 x 16 мм	352,8	13	Тавр 383 x 10 / 100 x 21 мм	352,8
7	П/б 180 x 32,5 x 9,5 мм	235,2	14	Полоса 300 x 27 мм	392,0

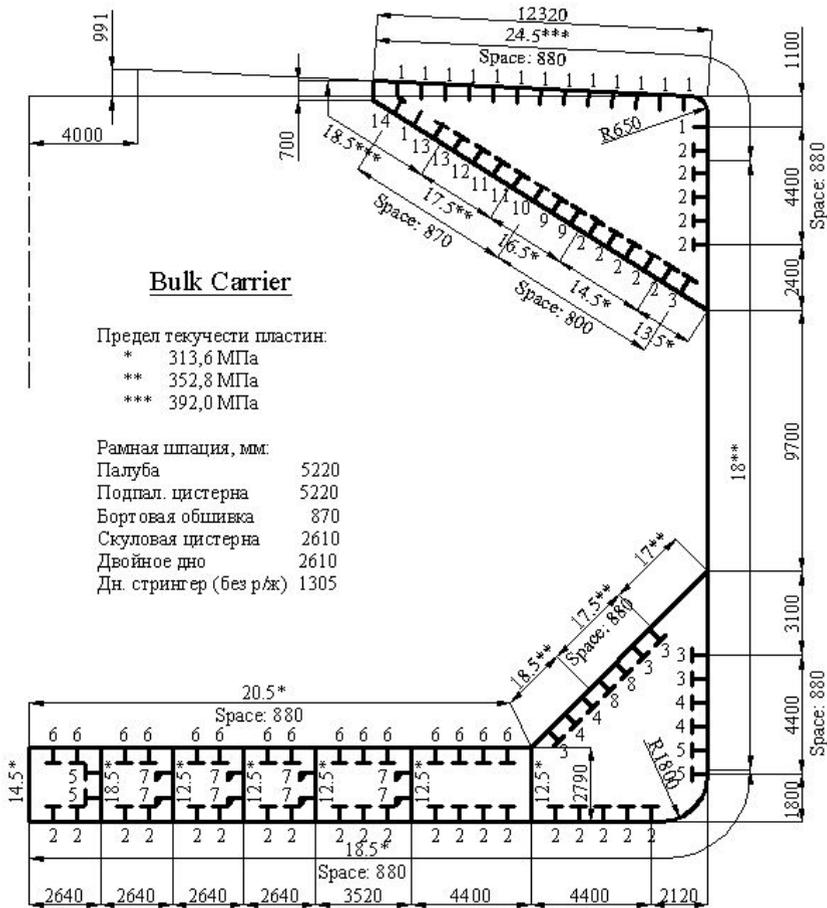


Рис.1. Эквивалентный брус

На основе полученных в статьях [1, 2, 3] результатов можно сделать следующие выводы:

1. Для метода Смита $M_{PP} > M_{\phi}^{MIN}$, то есть предполагается распространение напряжений текучести в направлении от крайнего сжатого пояса к НО (для некоторых типов ЭБ $M_{PP} > 1,3 M_{\phi}^{MIN}$). Здесь видно существенное отличие от метода РМРС, в котором, считается, что корпус судна достигает своего предельного состояния, при напряжениях, в крайнем пояске, равных пределу текучести.

2. Положение НО в предельном состоянии $Z_{НО PP}$ перемещается к растянутому пояску, для рассмотренного судна перемещение составило больше 20 % от начального положения $Z_{НО PP}$ в расчете по методу Смита (табл.2), тогда, как по отечественной методике в предельном состоянии НО сместилась менее чем на 1 %.

Таблиця 2

Расчет ЭБ по различным методикам

Метод	Предельный момент	
	$M_{PP}^{ПЕРЕГ} / M_{Ф}^{МИН}$	$M_{PP}^{ПРОГ} / M_{Ф}^{МИН}$
PMPC	0,96	0,96
PPP	0,82	0,75
Метод Смита (МАКО)	1,02	0,75

Анализ рассмотренных методик в совокупности с рядом экспериментов, касающихся поведения сжатых жестких связей [3] позволяют сделать следующие рекомендации, качественно улучшающие методику расчета ППИМ:

Метод Регистра. Включение пластин и ребер в состав ЭБ своей эффективной площадью (отсутствие жестких частей в составе ЭБ). При расчете нового корпуса целесообразен учет начальных несовершенств и остаточных сварочных напряжений.

Метод Смита. Развитие деформаций, равных или превышающих деформации текучести, необходимо ограничить крайним пояском ЭБ.

Выводы. Обе рекомендации приводят к уменьшению величины ППИМ, это уменьшение в перспективе можно компенсировать учетом среднего предела текучести, что в совокупности существенно повысит качество оценки ППИМ, а также приведет к сближению теоретических предпосылок, описывающих процесс перехода корпуса судна в предельное состояние, на которых построены рассмотренные методики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Yao T. et. al. *Ultimate hull girder strength // Special task committee VI.2//14th international ship and offshore structures congress. – Vol.2. – Nagasaki, Japan. – 2000. – p.73.*
2. Paik J.K. *Guide for the ultimate strength assessment of ships // Marine technology. – 2004. – Vol.41. – № 3. – P.122-139.*
3. Аврамов В.В. *Полунатурный эксперимент и численное моделирование поведения сжатых «жестких связей» // Вісник ОДМУ. – 2009. – Вып. 26.*

Стаття надійшла до редакції 20 жовтня 2012 р.

УДК 629.123.3

А.А.Семин

**КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ КОМФОРТАбельНОСТИ,
КАК СОСТАВЛЯЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДОВ
И ОРГАНИЗАЦИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПассаЖИРОВ**

В статье приводится классификация способов оценки комфортабельности пассажирских судов. Раскрывается сущность методов, в зависимости от поставленных задач.

Ключевые слова: Пассажирское судно, классификация, оценка комфортабельности.

У статті наводиться класифікація способів оцінки комфортабельності пасажирських суден. Розкривається сутність методів, залежно від поставлених завдань.

Ключові слова: Пасажирське судно, класифікація, оцінка комфортабельності.

The article provides a classification of ways of assessing the comfort of passenger ships. Reveals the essence of methods, depending on the tasks.

Keywords: The passenger ship, classification, valuation of comfort.

Постановка проблемы. Традиционно, качество морского или речного путешествия ассоциируется с комфортом пассажирского судна, поэтому все известные способы оценки качества, реализовывались посредством оценки комфортабельности самого судна и некоторых эмоциональных факторов пребывания на нем. Однако, сами способы оценки комфортабельности судна, очень сильно отличаются друг от друга, как принципами оценки, так и интерпретацией результатов. Кроме того, целесообразность применения того или иного метода зависит от задач или конечных целей: помимо собственно оценки комфорта в рейсе, целями могут быть – создание оптимального проекта судна, тарификация стоимости проезда, экспресс-оценка для принятия быстрого решения и ряд других.

Цель работы. Систематизировать существующие методы оценки комфортабельности, выявить области задач, пригодные для их применения, а также единые присущие им недостатки, не позволяющие производить дальнейшую объективную оценку в современных условиях.

Изложение основного материала. Известные методы можно подвергнуть классификации и сделать выводы о сфере их возможного использования и уровне точности (см. рис.).



Рис. Классификация методов оценки комфортабельности в зависимости от решаемых задач

Оперативный контроль. Задачи оперативного контроля выполняются, как правило, туристическими и круизными компаниями для отслеживания фактической ситуации на борту судна и в течении круиза в целом, а также для планирования необходимого уровня как сервисной комфортабельности – в течении сезона, так и конструктивной – в период ремонтов судна. Методы, в основе которых лежат задачи оперативного контроля, достаточно хороши для выявления недостатков работы персонала компании и экипажей судов.

Наиболее точными, дающими полное представление о наличии либо отсутствии, а также весомости того или иного показателя комфортабельности в процессе обслуживания туристов на судне, либо в офисе, являются *методы коэффициентов весомости*. Суть данных методов состоит в идентификации как можно большего числа показателей комфортабельности, характерных для данного туристического продукта, и определение статистическими методами коэффициента весомости каждого фактора в общей системе идентифицированных факторов комфортабельности. Сумма коэффициентов весомости дает общий числовой показатель, который можно обоснованно связать с действующими стандартами комфортабельности, например – с пятизвездочным международным стандартом, который принят для классификации гостиниц и туристических судов [8].

Методы базовых факторов дают возможность отслеживать колебания комфортабельности по отношению к заранее определенному базисному стандарту качества (уровню комфорта), а также ранжировать уровни комфорта по фиксированным группам. Каждая унифицированная группа факторов отображает определенный уровень комфорта. Ранжирование групп позволяет оценивать уровень комфорта от минимума к максимуму и присваивать каждому уровню отличительные знаки (напр. звезды), баллы, численные индикаторы. По данному методу производится оценка комфорта и классификация гостиниц, в том числе в России и Украине [6]. По результатам инспектирования гостиницы, государственным уполномоченным органом присваивается либо подтверждается уровень её комфортабельности в виде количества условных «звезд». Для пассажирских судов подобная нормативная база не разработана. В качестве варианта использования данного метода может быть разработка корпоративных методик и стандартов. Для каждого судна (либо группы судов) туроператор разрабатывает ряд базовых стандартов, которые представляют собой унифицированный набор факторов комфортабельности (действий, предметов и т.п.), который должен являться неизменным, а также положения по минимизации факторов дискомфорта. Путем оперативной проверки по результатам анкетирования туристов либо внутреннего аудита, могут быть выяснены отклонения от базового стандарта в любой период времени (по окончании круиза, навигации, отчетного периода и т.д.).

Решение инженерных задач. Методы определения комфортабельности, которые используются в процессе проектирования нового судна либо переоборудования (реновации) существующего, объединены в отдельную группу, специально предназначенную для *решения инженерных задач* в области конструирования, расчета тарифных сеток, объема инвестиций и т.п. Это обусловлено тем, что факторам комфортабельности, используемым в инженерных процессах можно присвоить точное числовое значение, и, благодаря этому ввести в различные формулы проектирования и экономических расчетов. В дальнейшем процессе, эти факторы оказывают фундаментальное значение при определении главных элементов судна, его экономической эффективности и строительной стоимости.

Наибольшее распространение для решения инженерных задач получили *методы надбавочных величин*. В основе данных методов [1, 9] лежат коэффициенты приращения площади, объема либо иной характеристики – в зависимости от предполагаемого уровня комфортабельности будущего судна, а также требований нормативных документов. Как правило, надбавочные величины (коэффициенты) являются результатом различных статистических исследований и вычислений как ранее построенных судов, так и результатом социологических исследований различных групп респондентов, связанных с проектированием, эксплуатацией судов, организацией турпродукта на судах, а также в среде туристов «со стажем». В связи с этим, методы надбавочных величин дают наиболее точ-

ный результат при подборе главных элементов судна, площадей помещений, конструкций, систем и устройств, создающих благоприятные условия отдыха на борту судна.

Кроме вышеописанных, в основе методов надбавочных величин, также могут быть т.н. коэффициенты «функциональности», которые исследуются для каждой группы помещений на судне, и, в итоге, уменьшают либо увеличивают величину площади либо объема отнесенную к одному пассажиру, что в сумме дает значение фактической функциональной площади, которая далее используется при проектировании. Сами коэффициенты «функциональности» могут также служить критериями комфортабельности судна.

В работах [4, 5] коэффициент комфортабельности представлен в виде отношения комплексной (т.н. «базовой») пассажировместимости к круизной пассажировместимости. Данные методы можно выделить в отдельную группу – *методов базовых величин*. Под базовой пассажировместимостью судна подразумевается условно-расчетное число мест одинаковой категории (с учетом каютного комплекса и общественных помещений), равное по сумме действительному числу мест различных категорий на данном судне. Комплексная базовая пассажировместимость определяется расчётным путем по формуле, в которую включены каютная пассажировместимость и целый ряд показателей площадей помещений, коэффициентов весомости помещений и дихотомических признаков стабилизаторов качки, системы кондиционирования воздуха и возраста судна, а также численность экипажа и коэффициент обслуживания.

Предлагаемая авторами методика более совершенна, нежели все предыдущие, описанные выше. Однако коэффициенты весомости определены лишь для базового каютного места, стабилизаторов качки, кондиционирования воздуха, неизношенности интерьеров. Такие факторы как: конструкция и оборудование помещений, их эстетичность и эргономичность, наличие других систем и устройств не включены в данные формулы. Также следует сказать о том, что, включив в указанные формулы определения коэффициентов комфортабельности, авторы полагали прямую зависимость между численностью экипажа и уровнем обслуживания пассажиров. Однако наличие в некоторых отечественных экипажах большого количества персонала, не задействованного в обслуживании пассажиров и различный уровень квалификационной подготовки части экипажа задействованных в работе с пассажирами в совокупности могут негативно повлиять на результат расчета.

Описанные методы отражают также идею оценки комфортабельности кают на основе сравнения с уровнем комфорта в условной базовой каюте. Будучи условной единицей измерения числа кают судна, базовая каюта имеет коэффициент комфортабельности, равный 1. При совпадении базовой и круизной пассажировместимостей, и при оптимальном распределении площадей общественных помещений, комплексный коэффициент комфортабельности судна равен единице или близок к ней. Пользуясь

приведенными в работах [3, 4, 5] формулами, можно сравнивать пассажировместимость различных судов в сопоставимых единицах – числе комфортных мест.

Комплексный показатель комфортабельности судна может определяться для любой плановой пассажировместимости – круизной, полной и промежуточной. Полученные результаты могут использоваться при разработке тарифных систем и выработке тактики выхода на круизный рынок, а также служить ориентировочным инструментом при выборе направлений модернизации судов.

Вместе с тем, авторы полагают справедливым решение о том, что с уменьшением количества пассажиров на судне комфортабельность его автоматически возрастает. Данное утверждение не совсем корректно, т.к. даже при уменьшенной вместимости на судне могут существовать ряд факторов дискомфорта либо недостаточного комфорта, которые в итоге не дадут существенного повышения комфортабельности от снижения пассажировместимости. Учитывая сегодняшнюю тенденцию к классификации пассажирских судов по количеству условных звезд, авторы вышеперечисленных методов не дают рекомендаций по привязке судов к определённому количеству условных звезд комфортабельности исходя из полученных значений комплексных показателей комфортабельности.

В работе [10] коэффициент комфортабельности определяется путем отношения суммы коэффициентов весомости различных факторов комфортабельности к базовому коэффициенту, отражающему усредненный уровень комфорта. В итоге, подобный метод расчета позволяет ранжировать помещения по различному уровню комфорта. Данный метод предложен авторами для расчета тарифных сеток проезда на судах в помещениях различных категорий комфортабельности и для конструкторских расчетов неэффективен.

Экспресс-оценка. Наравне с вышеописанными группами методов оперативного контроля и решения инженерных задач, существуют, также, отдельная группа методов, которая позволяет при первичном принятии решения о приобретении судна, фрахте, круизном путешествии и т.д. оценить уровень его комфорта. Такая *экспресс-оценка*, как правило, применяется в случаях, когда необходимо достаточно быстро и без особых трудозатрат получить представление об уровне комфортабельности судна располагая всего лишь одной-двумя его характеристиками. В связи с этим, большинство экспресс-оценок базируется на соотношении каких-либо двух величин между собой. По данному признаку их можно объединить в группу *методов относительных величин*.

Наиболее часто для экспресс-оценки комфорта используются чистая либо валовая регистровая вместимость судна и численность его экипажа, в пересчете на одного пассажира. В более ранних методах [11] использовалась также длина и прочие характеристики. Объединяющим признаком всех экспресс-методов является то, что они дают начальное представление о комфорте судна со значительной погрешностью, которой, при

первичной оценке можно пренебречь. Авторы данных экспресс-методов полагали справедливым решение о том, что с уменьшением количества пассажиров на судне комфортабельность его автоматически возрастает. Данное утверждение не совсем корректно, т.к. даже при уменьшенной вместимости на судне могут существовать ряд факторов дискомфорта либо недостаточного комфорта, которые в итоге не дадут существенного повышения комфортабельности от снижения пассажироместимости. Это не позволяет обоснованно определить и заявить о фактическом уровне конструктивной и сервисной комфортабельности судна, а главное – об уровне его дискомфорта. В таблице 1 приводится сравнительная оценка комфортабельности между известными экспресс-методами и методом автора.

Таблица 1

Сравнительная оценка уровней комфортабельности

Название судна	Валовая вместимость, рег.т	По А.А. Семину	По относительной вместимости	По А.В. Кузьменко	По В.Урбановичу
Казань	3280	4,75	15,26	1,93	2,09
a'Rosa Donna	3524	4,57	16,62	1,91	2,11
Donauprinzessin	2000	4,30	9,35	1,92	2,58
Т.Г.Шевченко	5526	3,95	25,70	1,93	2,09
Максим Горький	4200	3,95	17,57	2,05	2,00
Украина	3205	3,88	20,16	1,65	1,92
Dresden	1000	3,81	4,31	2,01	2,09
Princesse de Provence	1132	3,82	5,29	1,92	2,58
Антон Чехов	4680	3,75	11,70	2,85	3,16
Волга	2125	3,57	8,78	2,06	2,04
Владимир Ильич	5284	3,30	14,68	2,65	3,05
Дунай	1407	2,83	3,52	2,85	3,16

Исходя из данных таблицы видно, что относительная вместимость не является корректным показателем комфортабельности. Так например, для т/х “Donauprinzessin” коэффициент комфортабельности по относительной вместимости не так высок, хотя фактический уровень комфортабельности данного судна соответствует четырехзвездочному. И наоборот: т/х «Владимир Ильич» по относительной вместимости имеет один из самых высоких коэффициентов комфортабельности, хотя действительный уровень комфортабельности этого судна невысок, что подтверждается расчетами по методике автора.

Выводы.

1. Несмотря на существующее множество методов оценки комфортабельности судов, до сих пор ни в одном из известных методов не учитывались группы факторов не связанные непосредственно с судном: реклама и продвижение, процесс выбора и приобретения круиза, обслуживание в офисе, экскурсионное обслуживание, трансферы и т.д. Данные группы факторов также оказывают значительное воздействие на качество круизного путешествия и его восприятие туристами. В условиях конкуренции любая из этих групп может послужить отталкивающим фактором, что приведет к потере клиента либо еще до приобретения круиза либо после окончания путешествия для туристов, совершающих круиз впервые.

2. Кроме того, ни один из известных методов не содержит факторов дискомфорта. Это значительно искажает результаты оценки комфортабельности судна. Принципы построения существующих методов подразумевают, что каждый член экипажа судна выполняет свои обязанности надлежащим образом, а само судно и его оборудование работают согласно своим паспортным характеристикам, однако, зачастую это далеко не так. Анализ отзывов туристов о круизных путешествиях позволяет идентифицировать целый комплекс факторов дискомфорта, способных негативно воздействовать на восприятие круизного путешествия, как до его начала, так и в процессе, что, в итоге, снижает впечатление от круиза в целом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вицинский В.В. Основы проектирования судов внутреннего плавания / В.В. Вицинский, А.П. Страхов. – Л.: Судостроение, 1970. – 454 с.
2. Ларкин Ю.М. Надежность и функциональность пассажирского судна / Ю.М. Ларкин, Г.П. Пилипенко // Судостроение и судоремонт. – Одесса: ОИИМФ. – 1978. – № 10. – С. 71-73.
3. Морские пассажирские суда / Ю.А. Будницкий, Г.П. Пилипенко, А.Г. Чукавин, В.С. Петухов. – Л.: Судостроение, 1989. – 224 с.
4. Пилипенко Г.П. Методика расчета усредненных технико-эксплуатационных характеристик круизных судов / Г.П. Пилипенко // Экономика и эксплуатация морского транспорта. – М.: Рекламинформбюро ММФ, 1977. – № 12. – С. 42-50.
5. Пилипенко Г.П. Совершенствование эксплуатации морского пассажирского флота / Г.П. Пилипенко. – М.: Транспорт, 1989. – 103 с.
6. Послуги туристичні. Класифікація готелів : ДСТУ 4269:2003. – [Чинний від 2003-12-23]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 13 с.

7. Проектирование судов внутреннего плавания / [Н.К. Дормидонтов, В.Н. Анфимов, П.А. Мальй, и др.]. – Л.: Судостроение, 1974. – 335 с.
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. – Вип. 17. – Одеса: ОНМУ, 2005. – С.39-45.
9. Сёмин А.А. Определение площадей внутренних помещений и открытых палуб пассажирских судов внутреннего и смешанного плавания / А.А. Сёмин // Вісник Одеського Національного морського університету: Зб. наук. праць. – Вип. 19. – Одеса: ОНМУ, 2006. – С.64-75.
10. Шиф М. И. Обслуживание пассажиров на судах морского флота / М.И. Шиф, Ю.В. Чернышев, А.А. Голиков. – М.: Транспорт, 1982. – 240 с.
11. Урбанович В. Архитектура судов / В. Урбанович: Пер. с польск. – Л.: Судостроение, 1969.

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

УДК 629.5.067: 656.611.052

В.В. Вычужанин, В.Д. Бойко

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЖИВУЧЕСТИ
СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Проанализированы методы и методики по выбору и оценке критериев живучести судовых технических систем. В целях обеспечения информационной поддержки принятия решений на стадии эксплуатации судовых технических систем разработана концепция построения системы поддержки принятия решений на базе когнитивно-информационной модели оценки их живучести.

Ключевые слова: критерии живучести судовых технических систем, когнитивная модель, информационная поддержка.

Проаналізовано методи та методики по вибору і оцінці критеріїв живучості суднових технічних систем. З метою забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень на стадії експлуатації суднових технічних систем розроблено концепцію побудови системи підтримки прийняття рішень на базі когнітивно-інформаційної моделі оцінки їх живучості.

Ключові слова: критерії живучості суднових технічних систем, когнітивна модель, інформаційна підтримка.

The methods and procedures for the selection and evaluation criteria for ship survivability engineering systems. In order to provide information to support decision-making at the operational stage of ship engineering systems developed conception of structure decision support system based on cognitive-information model to assess their viability.

Keywords: survivability criteria marine engineering systems, cognitive model, information support.

Введение. Современное судно представляет собой сложную совокупность технических систем, подсистем и технического оборудования, влияющих на безопасную эксплуатацию судов и во многом определяющих их живучесть. Обеспечение живучести технических систем судна является комплексным элементом, входящим в общую концепцию борьбы за живучесть судна, наряду с такими разделами, как обеспечение непотопляемости, борьба с пожарами.

К техническим системам, влияющим на живучесть судна относятся энергетическая установка и общесудовые системы (трюмные, балластные, пожаротушения, создания микроклимата, санитарные, судового энергоснабжения, специальные системы танкеров и наливных судов, навигационного оборудования, средств связи, информационные).

Сохранение работоспособности судового оборудования (непосредственно не подвергнувшегося аварийным воздействиям внешней среды), безаварийность комплекса технических средств и возможность управления режимами его работы зависит от живучести схем управления техническими системами. Использование конструктивных решений на стадии проектирования и организационно-технических мероприятий, осуществляемых при эксплуатации, решаются задачи по обеспечению живучести судовых технических систем [1-3].

Актуальность. Соблюдение на стадии проектирования и постройки нормативных требований не является достаточным условием для обеспечения живучести судов при их эксплуатации. Это связано с тем, что предпринимаемые соответствующие меры могут быть настолько дорогими, что сделают эксплуатацию судна экономически нецелесообразной.

Из анализа результатов эксплуатации судов следует, что, не смотря на принимаемые меры по обеспечению безопасности мореплавания, количество аварийных случаев на море остается высоким.

Одной из наиболее полных открытых баз данных по авариям судов является база данных **МАИВ** (*Marine Accident Investigation Branch*) [4], годовые отчеты в которой отражают статистику происшествий для больших торговых и рыболовецких судов за 1998-2011 годы. Исходя из имеющейся статистики, соответствующие соотношения аварий технических систем к общему количеству аварий представлены в табл.1. Если рассматривать количество аварийных случаев в мире за год, то в 2005 году зафиксировано 1150 аварийных случаев, в 2006-м – 1283, в 2007-м – 1609, в 2008-м – 1623 и в 2009-м – 1688 [5]. Самые распространенные аварии связаны с повреждением корпуса и механизмов – свыше 30 %. Второе место занимают аварии, связанные со сносом (выбросом)/ посадкой на мель (около 20 %). Еще около 20 % выпадает на столкновения с судами, пожары и взрывы составляют 7-8 %.

Анализ распределения аварий по водоизмещению и возрасту судов показывает, что выход из строя технических систем чаще всего служит одной из самых многочисленных причин аварий на судах большого и среднего тоннажа. Проблема обеспечения живучести актуальна не только для старых, но и для новейших типов судов и, в особенности, для судов большого водоизмещения, с развитыми системами управления и коммуникациями и как следствие с более уязвимыми судовыми подсистемами. Так 87 % всех рассмотренных инцидентов приходится на суда водоизмещением больше 10000 брт. Установлено, что 44 % случаев аварий приходится на суда со сроком эксплуатации менее 10 лет [6]. Доля технических неисправностей на самом деле может составлять больший процент, поскольку некоторую часть случаев составляют комбинированные аварии. Например, инцидент с контейнеровозом "*Clonlee*", который 16 марта 2011 года в результате отключения электроэнергии в судовой сети поте-

рлял управление и сел на мель. Другой случай, когда пожар на судне "Maersk Doha" возник из-за неисправности тубопровода.

К основным причинам состояния аварийности судов можно отнести следующие [7]:

- современные нормы по проектированию и эксплуатации обычно согласуются с множеством мнений и инстанций и в результате часто являются компромиссным решением;

- существует разрыв во времени между полученным при инциденте опытом, его анализом, осмыслением и внедрением на практике;

- развитие технологий и изменение трендов в мореплавании приводит к появлению новых особенностей и схем эксплуатации, которые не прошли полную апробацию на практике.

К техническим средствам первой очереди, в которых возникают ключевые неисправности, относятся: главная силовая установка; котлы и магистрали; рулевое устройство; генераторы; электрокабели; распределительные щиты; пожарные насосы; пожарные магистрали. Повреждения паропроводов главных магистралей системы свежего пара и коллекторов котлов считаются одними из наиболее опасных повреждений. При авариях, связанных с затоплением помещений электростанций или пожарами в них, подача электроэнергии не должна прекращаться, пока это возможно.

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время теория живучести находится в такой стадии развития, когда еще не сформированы основные понятия и определения, не существует единого мнения и о том, что такое живучесть, какова область применения этого понятия. Практически нет апробированных длительным практическим использованием моделей живучести судовых технических систем. Большое разнообразие известных показателей живучести скорее свидетельствует о недостаточной ясности в решении и этого вопроса, чем о его проработанности. Нет определенных методических разработок и по вопросу о том, для каких судовых технических систем следует оценивать, нормировать и обеспечивать живучесть. До сих пор не создано развитой теории, которая содержала бы, как и теория надежности, общетехнические результаты, позволяющие исследовать это свойство, оценивать его количественно и разрабатывать практические рекомендации проектировщика сложных систем по обеспечению живучести.

Исходя из вышеизложенного, обеспечение живучести судовых технических систем в целях повышения уровня безопасной эксплуатации судов и снижения их аварийности является по-прежнему актуальной научно-технической задачей.

Целью работы является создание концепции построения системы поддержки принятия решений для оценки и управления живучестью технических систем, обеспечивающих безопасную эксплуатацию судов.

Изложение основного материала. Степень живучести технических систем, обеспечивающих безопасную эксплуатацию судов, во многом зависит от эффективности функционирования используемых методов

и методик, основывающихся на обоснованном выборе критериев и оценок живучести судовых технических систем.

Анализ используемых критериев и оценок живучести подобных систем показал, что с точки зрения борьбы за живучесть, жизненный цикл судна, как совокупности технических систем, можно разделить на несколько основных этапов. На первом этапе (стадии планирования и проектирования судна) живучесть систем должна обеспечиваться конструктивными мерами - в частности отказоустойчивой топологией их размещения, дублированием критичных для выживания судна узлов и так далее. Второй этап (эксплуатационный) можно разделить на несколько отдельных периодов – борьбу за живучесть до вероятной аварии, борьбу за живучесть в момент условной аварии и в момент после условной аварии. В первом периоде борьба за живучесть технических систем сводится к мерам профилактического и частично упреждающего характера – основной целевой задачей является недопущение возможных аварий. Во втором периоде целевая задача состоит в предотвращении развития мелких аварий в более крупные. В третьем – максимально возможная локализация уже происшедших аварий и восстановление нормального функционирования судовых систем.

В работе [6] по результатам проведенных исследований предлагается рассматривать судно, как последовательное взаимодействие технических систем, экипажа, организационной инфраструктуры и внешней среды (на физическом, коммерческом и правовом уровнях). Рекомендуются проводить анализ рисков и ущерба в результате неисправностей в оборудовании. Так же предлагается рассматривать работу судна по отдельным оперативным фазам: погрузка, выход из гавани, навигация в открытом море и так далее, поскольку на разных стадиях деятельности выход из строя технических систем может иметь последствия различной степени тяжести. Определение риска, как сочетания (частоты) вероятности и тяжести последствий определенного события приводится в работах [8].

В [9] особо подчеркивается роль мониторинга ключевых и критичных для живучести технических систем на стадии эксплуатации, а в работе [10] рассматривается взаимовлияние судовых систем и их возможные неисправности на разных стадиях эксплуатации судна. В работе [11] рассматривается увеличение надежности мореплавания и экономические эффекты от внедрения целостного системного подхода к обеспечению живучести судна.

Среди различных подходов к оценке живучести технических систем одним из главных инструментов является аналитический анализ безопасности, в ходе которого определяется спектр неисправностей (исходов), их возможные последствия, вероятность исходов и меры, которые можно предпринять, чтобы уменьшить риск [12]. В данном случае живучесть системы является функцией надежности ее технических узлов, показателем надежности которых могут быть как количественные (численные величины, выражающие надежность узлов), так и качественные (взаимо-

связь и взаимовлияние систем, подсистем и отдельных узлов) критерии. Надежность технического узла оценивается, как это предложено в [13] с точки зрения нескольких характеристик – вероятности отказа, времени наработки на отказ и так далее. Сама надежность технического узла в общем случае может характеризоваться моделью кривой отказов, приведенной на рис.1, где P – вероятность выхода узла из строя, t – время эксплуатации узла. В данной модели вероятность выхода из строя технического узла – это функция от времени эксплуатации. Вероятность выхода из строя особенно высока в первой и третьей фазах.



Рис.1. Модель кривой отказов технического узла

Следует отметить, что предлагаемую в работе [13] модель взаимосвязи систем необходимо дополнительно расширить до интегральной характеристики – критичности, которая станет интегральной характеристикой живучести всей системы в целом и ее отдельных узлов. Критичность должна сочетать в себе не только надежность узла, но и его влияние на прочие компоненты системы – так выход из строя второстепенного узла, может повлечь за собой отказ основных систем.

Основным недостатком рассмотренных выше работ является отсутствие возможности оценки критичности технических узлов, позволяющей в зависимости от риска выхода из строя этих узлов, формировать рекомендации по профилактическому ремонту и замене технических систем, а на стадии упреждения аварии – по мерам направленным на возможное предотвращение более серьезных аварий.

Известные методы анализа критериев живучести технических систем можно условно разделить на четыре основные группы [12, 14] (рис.2): аналитические методы, методы работы со структурированными знаниями, комбинированные и методы нечеткой логики.

Аналитические методы (непосредственное решение уравнений, методы малого параметра, вероятностные, логические, продукционные и методы теории распознавания образов) позволяют использовать удобные методы оптимизации и соотношения, характеризующие эволюцию состояния оборудования.

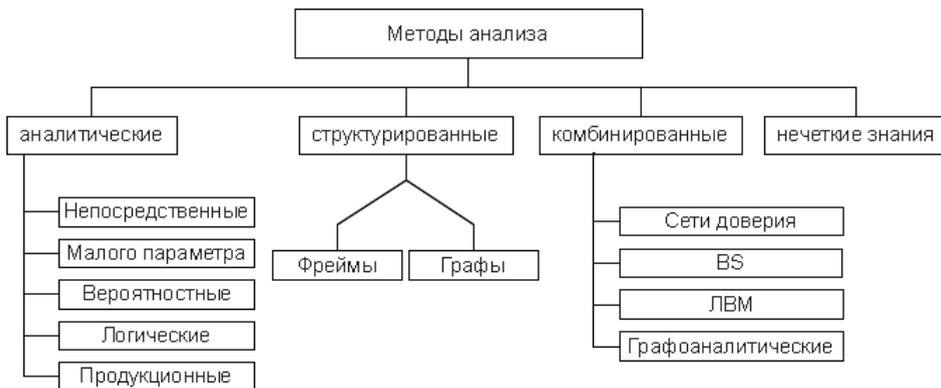


Рис.2. Методы анализа критериев живучести

Преимуществом метода непосредственного решения систем уравнений является точность достигаемых результатов при условии получения аналитического решения уравнений и достоверной информации о состоянии технических судовые системы (ТСС) [14]. Недостатком является быстро растущая сложность вычислений по мере роста сложности ТСС и количества рассматриваемых параметров модели. Кроме того, далеко не во всех случаях представляется возможным получить аналитическое решение (а иногда и представление) ТСС [15]. Метод малого параметра (метод возмущений) широко применяется в прикладной математике, в частности, для уточнения решения, полученного из упрощенной модели, а также для выяснения погрешности этого решения. Известны следующие типы задач, для решения которых применяется метод малого параметра. В задачах первого типа малый параметр входит в саму их постановку, а цель исследования состоит в выяснении влияния этого параметра на решение. Метод приводит к асимптотическим формулам, в которых отражено это влияние. Задачи второго типа в своей постановке малого параметра не содержат и в целях применения метода параметр необходимо ввести. Методы вероятностного анализа в чистом виде [16] как правило сводятся к вычислению математического ожидания. При этом вводится критерий полезности, по которому определяется эффективность того или иного решения. Часть подходов включает в себя использование теоремы Байеса, устанавливающей вероятность наступления одного события, если произошло другое. Использование теории вероятности ставит перед разработчиком следующие проблемы, которые лучше всего сформулировать в терминах задачи выбора:

- либо априори предположить, что все данные независимы, и использовать менее трудоемкие методы вычислений, за что придется платить снижением достоверности результатов;

- либо организовать отслеживание зависимости между используемыми данными, количественно оценить эту зависимость, реализовать оперативное обновление соответствующей нормативной информации, т.е. усложнить вычисления, но получить более достоверные результаты. Инструменты вероятностного анализа так же используются во множестве комбинированных систем (ЛВМ, Байесовские сети доверия и т.д.).

Методы и аппарат математической логики (двухзначной и многозначной) [17] часто применяется в анализе критериев живучести для целей структурного моделирования. В основном анализируются системы, характеризуемые конечным числом состояний. Продукционная система [17] состоит из множества правил, интерпретатора правил, решающего, когда надлежит применить каждое из них, и рабочей памяти, содержащей данные, описание цели и промежуточные результаты, в совокупности определяющие текущее состояние проблемы. Именно структуры данных в рабочей памяти анализируются и преобразуются порождающими правилами. Обращение к правилам синхронизируется текущими данными, а интерпретатор правил управляет выбором и активизацией определенных правил в каждом цикле.

Анализ критериев живучести может выполняться при помощи средств классификации, используемых теорией распознавания образов [18]. Одно из общих решений задачи заключается в рассмотрении двух интервалов времени работы объекта – наблюдения за состоянием объекта и прогнозированием состояния объекта. На практике первый период влечет за собой экономические и ресурсные затраты и его стараются максимально сократить. При классификации выполняется систематизация, выявление общих черт и закономерностей в работе объекта, далее выстраиваются классы и на их основе по т.н. признаку векторов объекта выполняется прогнозирование его дальнейшего поведения. Классификация может производиться, как на основе информативной совокупности прецедентов состояний объекта, так и без него – в зависимости от специфики задачи классификации.

В структурированных методах анализа критериев живучести технических систем термин "структурированный объект" используется по отношению к любой схеме представления, базовые блоки которой аналогичны узлам и дугам в теории графов или слотам и заполнителям структур записей. Представление с помощью структурированных объектов является весьма удобным средством для группирования информации более или менее естественным путем [19]. Сущность фундаментальной идеи в структурированных методах анализа критериев живучести технических систем заключается в том, что свойства и процедуры, ассоциированные с фреймами в виде свойств узлов, расположенных выше в системе фреймов, являются более или менее фиксированными. Объясняется это тем,

что они представляют понятия, которые в большинстве случаев являются истинными для интересующей сущности, в то время как фреймы нижних уровней имеют слоты, которые должны быть заполнены наиболее динамической информацией, подверженной частым изменениям. Если такого рода динамическая информация отсутствует из-за неполноты информации о наиболее вероятном состоянии системы, то слоты фреймов нижних уровней заполняются данными, унаследованными от фреймов верхних уровней, носящих глобальный характер. Данные, передаваемые в процессе функционирования системы от посторонних источников знаний во фреймы нижних уровней, имеют более высокий приоритет, чем данные, унаследованные от фреймов верхних уровней.

Графические методы анализа критериев живучести технических систем обладают большой наглядностью и могут служить как для анализа, так и в иллюстративных целях при проектировании систем [20]. Особое место в графических методах отводится направленным и ненаправленным графам и аппарату матричных представлений графов. С помощью графов возможно моделирование самых различных взаимодействий в системах – в частности статический, динамический и симплициальный анализ. Для обработки графа в вычислительных средах, он может быть представлен в матричном виде одним из трех основных способов – матрицей смежности, матрицей инцидентности или списком ребер [18, 21]. Использование матрицы смежности предпочтительно только в случае неразрезанных графов, с большим числом ребер, так как она требует хранения по одному биту данных для каждого элемента. Если граф разрежен, то большая часть памяти напрасно будет тратиться на хранение нулей, зато в случае неразрезанных графов матрица смежности достаточно компактно представляет граф в памяти.

Комбинированные методы анализа критериев живучести технических систем совмещают в себе сразу несколько различных подходов [23]. В работе [24] была предложена концепция бортовой интегрированной интеллектуальной системы, объединяющей методы теории катастроф и, наряду с традиционными математическими методами, использующую достижения в области искусственного интеллекта и принципы функционирования интеллектуальных систем реального времени.

Кроме интегрированной ИС, можно выделить системы основанные на сетях доверия, системы с доской объявлений (BS – Blackboard Systems) [17], ЛВМ – логико-вероятностные модели [25] и различные графоаналитические системы.

Неточные методы анализа критериев живучести технических систем играют важную роль в оценке критериев живучести [22], однако вопрос, какие именно методы должны использоваться. До последнего времени считалось, что теория вероятности не является адекватным инструментом для решения задач представления неопределенности знаний и данных. Эти соображения породили новый формальный аппарат для работы с неопределенностями, получивший название нечеткая логика.

В настоящее время получение достоверной информации и ее быстрый анализ стали важнейшими предпосылками успешного управления объектами. Это особенно актуально, если объект управления и его внешняя среда представляют собой комплекс сложных процессов и факторов, существенно влияющих друг на друга. Одно из наиболее продуктивных решений проблем, возникающих в области управления и организации, состоит в применении когнитивного анализа. Сущность когнитивного подхода заключается в том, что бы помочь «эксперту» отразить ситуацию и разработать наиболее эффективную стратегию управления, основываясь не столько на своей интуиции, сколько на упорядоченном и верифицированном знании о сложной системе. Когнитивный анализ рассматривается как один из наиболее мощных инструментов исследования нестабильной и слабоструктурированной среды.

Методология когнитивного моделирования, предназначенная для анализа и принятия решений в плохо определенных ситуациях, была предложена Р. Аксельродом [26]. Суть когнитивного моделирования – ключевого момента когнитивного анализа – состоит в том, чтобы сложнейшие проблемы и тенденции развития системы отразить в упрощенном виде в модели, исследовать возможные пути и условия их разрешения в модельной ситуации.

Когнитивно-информационная модель (КИМ) представляет собой формализованное с разной степенью описание оборудования, учитывающее эволюцию технической системы во времени. КИМ разделяются на три категории (рис.3).



Рис.3. Категории когнитивно-информационных моделей

Непрерывные – описывают процессы, протекающие в непрерывно изменяющемся времени. Как правило, описываются с помощью передаточных функций и характеристических уравнений. Дискретные – описывают модель в ряд некоторых дискретных моментов времени без учета происходящего в промежутках времени. Обычно описываются в виде конечных автоматов или конечно-разностных уравнений. В основном используются для описания цифровых или импульсных устройств. Специ-

альные модели разделяют на три основные группы: информационные, функциональные и характеристики оборудования. Информационные специальные модели представляют собой описание информационных потоков в оборудовании, при этом КИМ рассматривается как фильтр-преобразователь информации. Функциональные модели отражают совокупность операций, выполняемых оборудованием и его отдельными частями в процессе функционирования.

Исследователи когнитивного анализа приводят разную номенклатуру этапов в зависимости от специфики изучаемого объекта (объектов). Если суммировать и обобщить все эти подходы, то можно выделить следующие этапы, характерные для когнитивного анализа любой ситуации:

1. Формулировка цели и задач исследования.
 2. Изучение сложной ситуации с позиций поставленной цели: сбор, систематизация, анализ существующей статистической и качественной информации относительно объекта управления и его внешней среды, определение присущих исследуемой ситуации требований, условий и ограничений.
 3. Выделение основных факторов, воздействующих на развитие ситуации.
 4. Определение взаимосвязи между факторами путем рассмотрения причинно-следственных цепочек (построение когнитивной карты в виде ориентированного графа).
 5. Изучение силы взаимовлияния разных факторов.
- В результате прохождения этапов 3-5 строится когнитивная модель системы, отображаемая в виде функционального графа.
6. Верификация когнитивной модели.
 7. Определение с помощью когнитивной модели возможных вариантов развития ситуации (системы), обнаружение путей, механизмов воздействия на ситуацию с целью достижения желаемых результатов, предотвращения нежелательных последствий, то есть выработка стратегии управления. Задание целевых, желаемых направлений и силы изменения тенденций процессов в ситуации. Выбор комплекса мероприятий (совокупности управляющих факторов), определение их возможной и желаемой силы и направленности воздействия на ситуацию (конкретно-практическое применение когнитивной модели).

Существуют две главные проблемы построения когнитивной модели. Во-первых, трудности вызывает выявление факторов (элементов системы) и ранжирование факторов (выделение базисных и второстепенных) (на этапе построения ориентированного графа). Во-вторых, выявление степени взаимовлияния факторов (определение весов дуг графа) (на этапе построения функционального графа). Можно констатировать, что исследователями не разработан четкий алгоритм выявления элементов исследуемых систем. Предполагается, что изучаемые факторы ситуации уже известны «эксперту», проводящему когнитивный анализ. Важнейшая

проблема когнитивного моделирования – выявления весов дуг графа – то есть количественная оценка взаимовлияния или влияния факторов.

В целом когнитивное моделирование позволяет:

- исследовать проблемы, возникающие в нестабильных, слабо-структурированных средах (системах), которые часто не поддаются изучению с помощью традиционных математических моделей;
- учитывать изменения внешней среды и самого объекта управления;
- прогнозировать последствия тех или иных управленческих решений.

Исходя из вышеизложенного, основным назначением разрабатываемой системы поддержки принятия решений (СППР) при оценке живучести технических систем стало обеспечение информационной поддержки принятия решений на стадии эксплуатации и упреждающих действий при аварии судна.

СППР основывается на когнитивно-информационной модели оценки живучести судовых технических систем, сочетающей взаимодействующие между собой системы, подсистемы и отдельные технические узлы, рассматриваемые как объекты с индивидуальными характеристиками. Взаимодействие узлов определяется их входящими и исходящими параметрами. СППР оценивает общее состояние технических систем с использованием единой системы параметров узлов, а также значения характеристик узлов, их взаимодействие, основанное на значении и динамике входящих и исходящих параметров. Каждый узел подключается к системе, либо как виртуальный компонент библиотеки узлов (модель функционирующего узла судовой технической системы), либо как реальный компонент, получающий через информационный интерфейс на входе параметры диагностики технических систем и преобразующий их в системные параметры СППР. Интерфейсы используются как аппаратные, так и программные. Применение единой параметрической модели и системных интерфейсов для отдельных узлов позволяет включать в модель узлы самых различных систем и самой широкой номенклатуры.

Благодаря единой системе интерфейсов, предлагаемая СППР может функционировать как самостоятельная бортовая система, так и как составная часть судового информационного комплекса, например, в среде интегрированной ИС предложенной в [24, 27, 28].

Для рассматриваемой обобщенной технической системы общее количество узлов принято равным m . В качестве индивидуальных характеристик каждого узла выбраны: срок службы (S_i); текущее состояние (S_n) и вектор состояний узла; вектора вероятности состояний и работоспособности узла; ресурсный вектор; матрица влияния узла; коэффициент доверия. Характеристики узла и его взаимодействие со смежными узлами системы в соответствии с когнитивно-информационной моделью технических систем судна отражены на рис. 4.

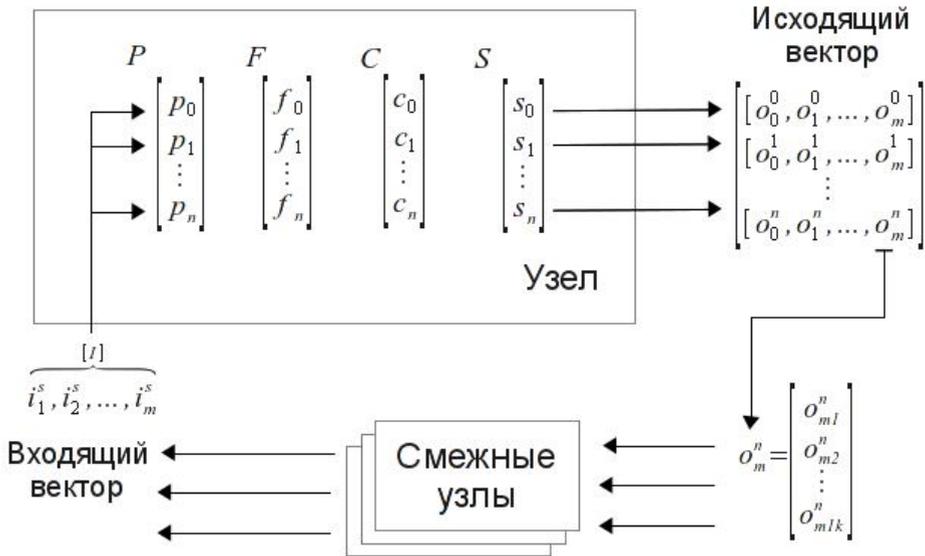


Рис. 4. Характеристики узла и его взаимодействие со смежными узлами технической системы

Срок службы задается в момент создания системы, автоматически увеличивается по мере эксплуатации узла и изменяется в момент замены узла на новый. Каждый узел характеризуется n состояниями S_n , каждое из которых отражает эволюцию исправности узла. При этом за S_0 принимается полностью исправное состояние узла, а S_i , для $i = 1, \dots, n$ отражают переход узла во все менее исправные состояния. В простейшем случае у узла два состояния: $n = 0$ – узел исправен и $n = 1$ – узел неисправен. Характеристика "состояние узла" S_i – отражает его состояние на текущий момент времени. Промежуточные значения для количества состояний $n > 2$ могут отражать как различные варианты неисправного состояния узла (поломка, перегрев, вибрация выше проектной и т.д. и т.п.), так и несколько стадий износа узла (в частности – различные состояния распределения). Параметры влияния рассматриваются, как безразмерные немасштабные величины в диапазоне от 0 до 1, где 0 отражает полное отсутствие связи (выход узла из строя не влияет на смежный узел), а 1 – прямую связь (выход из строя узла, влечет за собой однозначный выход из строя смежного узла).

Матрица влияния узла – комбинация входящего и исходящего векторов влияния, отражающего взаимодействие узла с другими узлами системы. Входящий вектор влияния отражает параметры влияния на данный узел других узлов системы и зависит от состояния узлов системы, связанных с данным узлом. Исходящий вектор влияния отражает параметры влияния данного узла на узлы системы связанные с данным узлом и изменяется по мере перехода системы в каждое из n состояний. Следо-

вательно, исходящий вектор O состоит из n матриц влияния. Каждая из матриц влияния представляет собой сочетание $m \times k$, где m – число узлов системы смежных данному узлу, k – число возможных состояний смежных узлов. Значением поля матрицы является модификатор вероятности смены состояния смежного узла. Соответственно, полная матрица исходящего влияния узла представляет собой $m \times k$ матрицу из n векторов влияния по m параметров в каждом из них. Вектор вероятности состояний узла P отражает вероятности перехода узла в одно из n состояний. Вероятность перехода узла в одно из n состояний является функцией текущего состояния узла S , его срока службы $T = t$, а так же входящего вектора влияния, моделирующего входящие параметры влияния других узлов системы. Вектор работоспособности узла F указывает на состояние узла в каждом из n состояний и отражает его способность выполнить поставленную задачу за время Δt

$$F_i = \frac{P_i^t}{P_o^t} = \frac{P(S_i | \Delta t)}{P(S_o | \Delta t)}.$$

Приведенная характеристика является качественной, соответствующая отношению вероятности выполнения целевой работы в состоянии S_o к вероятности выполнения работы в S_i . В случае двух состояний узла такой вектор будет иметь всего два значения – $F_o=1$ (узел работоспособен) и $F_i=0$ (узел неработоспособен)

$$F_i = \frac{P(S_o | \Delta t)}{P(S_o | \Delta t)} = \frac{1}{1} = 1$$

$$F_o = \frac{P(S_i | \Delta t)}{P(S_o | \Delta t)} = \frac{0}{1} = 0.$$

Вектор ресурса восстановления отражает затраты на восстановление узла до состояния S_o . Он может иметь как временную (человеко-часы, активное время на восстановление при оптимальном количестве персонала), так и экономическую составляющую.

В каждый момент времени узел системы характеризуется несколькими обобщенными параметрами: состоянием, сроком службы, ожидаемой работоспособностью, ожидаемым ущербом, критичностью. Ожидаемая работоспособность является математическим ожиданием работоспособности узла и вычисляется по формуле

$$F_\Sigma = \sum_{i=0}^n f_i \cdot P_i.$$

Ожидаемый ресурс восстановления узла является математическим ожиданием затрат ресурсов на восстановление узла и вычисляется по формуле

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=0}^n c_i \cdot p_i.$$

Работа разработанной системы оценки живучести судовых технических систем возможна в нескольких режимах. В *режиме интегральной оценки* система указывает на возможные в разные моменты времени неисправности, оценивает их критичность и выдает рекомендации по восстановлению/замене узлов в зависимости от их влияния на систему и экономического эффекта. В *режиме дифференциальной оценки* система оценивает каждую из иерархий технических систем по категории "система – подсистема – узел" и выдает рекомендации аналогичные режиму интегральной оценки. В *поисковом режиме* система моделирует возможные неисправности и выход из строя узлов с различными целевыми функциями поиска. К целевым функциям относятся: поиск критических и уязвимых мест системы; оценка различных вариантов профилактики системы (в зависимости от критичности и экономического эффекта, который может выражаться как в ценовой, так и в ресурсозатратной форме); наихудшие сценарии возможных неисправностей и возможность "аварийных резонансов" (случаи когда выход из строя незначительных элементов может повлечь за собой каскадную цепь поломок и выходов из строя систем).

Выводы. Разработанная система поддержки принятия решений, основывающаяся на когнитивно-информационной модели судовых технических систем, рекомендуется для использования на стадии их проектирования и эксплуатации систем. На стадии проектирования – с целью моделирования возможных сценариев неисправностей и устранения уязвимых мест конструктивными методами, в частности резервированием уязвимых участков. На стадии эксплуатации – оценки критичности технических узлов, позволяющей в зависимости от риска выхода из строя этих узлов, формировать рекомендации по профилактическому ремонту и замене технических систем, а на стадии упреждения аварии – по мерам направленным на возможное предотвращение более серьезных аварий.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения. – Введ. 2003–01–01. – М.: Изд-во стандартов,
2. BS11.BS EN ISO 9001:2008. Quality management systems. – Requirements. – 2008.

3. ISO. 31000:2009. *Риск Менеджмент. – Принципы и руководства Geneva: International Organization for Standardization. – 2009.*
4. MAIB. *Annual Report 2011. Southampton, United Kingdom: Crown. – 2011.*
5. Дерменжи М., А.Г. *Аварийность на море: реальный взгляд на жизнь // Качественное судоходство: стандарт XXI века. Безопасность и защита морской среды: грядущие перемены. – СПб., 2009.*
6. Wang J., Foinikis P. *Formal safety assessment of containerships / Marine Policy. – 2001. – Vol. 25. – P. 143-157.*
7. Колесников Р.Д. *Проблема обеспечения борьбы за живучесть на современных кораблях [Электронный ресурс]. URL: <http://flot.com/science/reality/shipdamagecontrol>*
8. Ковтун Л.И., Шарков Н.А. *Интеллектуальный интерпретатор критических событий и их последствий в корабельной АСУ на базе упреждающего имитационного моделирования и ситуационного анализа контролируемых процессов / ИММОД2011 «Имитационное моделирование. Теория и практика». – Россия, СПб., 2011.*
9. Hecht H. *Systems Reliability and Failure Prevention / Artech House. – 2003.*
10. Turan O. *Investigating the reliability and criticality of the maintenance characteristics of a diving support vessel / Quality and Reliability Engineering International. – 2011. – Vol. 27. – P. 211-216.*
11. Dzeladzis I., Turan O., Aksu S. *Increasing ship operational reliability through the implementation of a holistic maintenance management strategy / Ships and Offshore Structures. – 2010. – Vol. 5. – P. 337-357.*
12. Wang J. *Technology and Safety of Marine Systems (Ocean Engineering Series) / Elsevier Science. – 2003.*
13. OREDA. *OREDA - Offshore Reliability Data Handbook 2002 - 4th Edition [Текст] / OREDA. – 2002.*
14. Мозгалеvский А.В., Калявин В.П. *Системы диагностирования судового оборудования. – М.: Судостроение, 1987.*
15. Саати Т. *Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы. – М.: Мир, 1973.*
16. Мартино Д. *Технологическое прогнозирование. – М.: Прогресс, 1977.*
17. Джэксон П. *Введение в экспертные системы. – М.: Вильямс, 2001.*
18. Гайдышев И. *Анализ и обработка данных: Специальный справочник. – 2001.*

19. Месарович М., Такахара Я. *Общая теория систем: математические основы.* – М.: Мир, 1978.
20. Minsky M. *A framework for representing knowledge / The Psychology of Computer Vision.* – 1975. – P. 211-277.
21. Горелова Г.В., Мельник Э.В. *О возможности анализа и синтеза структур отказоустойчивых распределенных информационно-управляющих систем, основанной на когнитивном подходе / Искусственный интеллект.* – 2008. – Т. 3.
22. Варбанец Р.А., Ивановский В.Г., Бень А.П. *Использование принципов нечеткой логики в экспертной системе технической диагностики судовых двигателей внутреннего сгорания / Искусственный интеллект.* – 2010.
23. Nguyen H., Saaty T.L., L.G. V. *The application of the ahp method in ship system risk estimation / Polish Maritime Research.* – 2009. – Vol. 16. – P. 78-82.
24. Нечаев Ю.И. *Теория катастроф: современный подход при принятии решений* – СПб.: Арт-Экспресс, 2011.
25. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. *Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем.* – М.: Радио и связь, 1981.
26. Axelrod R. *The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites.* / Princeton. University Press. – 1976.
27. *Бортовые интеллектуальные системы. Ч. 2. Корабельные системы.* – М.: Радиотехника, 2006.
28. Нечаев Ю.И., Сизов В.Г. *Принятие решений при управлении судном в экстремальных ситуациях на основе современной теории катастроф // Судовождение.* – № 6. – ОНМА. – 2011.

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

УДК 621.431.74

Ма Фен, С.Н. Гловацкая, С.В. Руденко

**МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ
И УПРАВЛЕНИЯ ИМИДЖЕМ УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ**

Предложена модель процесса формирования и управления имиджем учебного заведения основанная на проектном подходе.

Ключевые слова: *имидж, управление, процесс, учебное заведение.*

Запропоновано модель процесу формування та управління іміджем навчального закладу заснована на проектному підході.

Ключові слова: *імідж, управління, процес, навчальний заклад.*

The authors proposes a model of process of formation and management of the institution's image-based project approach.

Keywords: *image, management, process, institution.*

Введение. Современный словарь трактует понятие «имидж» как целенаправленно формируемый образ, призванный оказать эмоционально-психологическое воздействие на кого-либо в целях популяризации, рекламы и т.п. [1]. Обратим внимание на несколько ключевых слов: «целенаправленно», т. е. имидж – это то, что можно планировать и создавать и чем можно управлять; «эмоционально-психологическое воздействие» – т.е. он «работает» с чувствами, а не только с логикой; «воздействие на кого-либо», т. е. необходимо увидеть тех субъектов, ради которых вся эта работа и затевается.

В.М. Шепель к основным характеристикам имиджа учебного заведения (УЗ) относит, в первую очередь, образ руководителя (его способности, установки, ценности социально-психологические характеристики, внешний вид), затем образ персонала учебного заведения (социальные данные, культура, профессиональная компетентность, личностные характеристики и т. д.). Кроме этого, уделяется внимание представлению социального окружения о качестве образования, стиле учебного заведения, уровне комфортности учебного заведения, цене образовательных услуг и внешней атрибутике [2].

И.Р. Лазаренко утверждает, что проблема представления учебного заведения как открытой социально-педагогической системы (создание имиджа) существовала всегда, но в современных социокультурных условиях она проявляется особенно отчетливо. Связано это как с процессами становления и развития различных типов и видов образовательных учреждений, с сокращением численности учащихся, так и с отсутствием понимания целей, содержания, педагогических инноваций со стороны родителей.

В маркетинговой литературе для характеристики имиджа организации используются разные определения – желаемый, реальный, традиционный, благоприятный, позитивный, идеализированный, новый (обновленный). Наиболее часто встречающиеся из них – желаемый имидж, благоприятный имидж [3]. Упомянутые названия определения следует причислять не к разряду отдельных видов имиджа, а рассматривать как характеристики имиджа, грани одной призмы, новое качество объекта. Перечисленные характеристики имиджа не исключают друг друга, не противоречат и не отрицают друг друга, при этом имидж может переходить из одного качества в другое. Так желаемый имидж при определенных усилиях со стороны заинтересованной в нем организации может стать реальным, а традиционный имидж перейти в новое качество или получить обновленное лицо.

Таким образом, *под имиджем учебного заведения мы понимаем совокупность внешних и внутренних характеристик его организации, которые определяют его статус в сфере образования и образ учебного заведения у целенаправленной аудитории.*

Целью работы является разработка модели процесса формирования и управления имиджем учебного заведения, основанной на проектно-ном подходе.

Изложение основного материала. Для современных учебных заведений имидж является важной составляющей профессионального успеха, поскольку это способствует повышению конкурентоспособности учебного заведения.

В условиях рыночной экономики жизнеспособными оказываются только конкурентоспособные учебные заведения. Конкурентоспособное учебное заведение – это заведение, которое обеспечивает устойчивый уровень качества образовательных услуг. Идея о связи имиджа организации с ее конкурентоспособностью не является новой. Научные исследования свидетельствуют, что главной функцией имиджа является формирование положительного отношения к кому-либо или чему-либо. Если положительное отношение сформировано, то за ним, как результат влияния социальных связей, обязательно последуют доверие и, в свою очередь, – высокие оценки и уверенный выбор. Такова психологическая цепочка, порождаемая положительным отношением (рис. 1).

К тому же положительный имидж, как правило, способствует повышению престижа, а, следовательно, авторитета и влияния. Позитивный имидж является также важным фактором высокого рейтинга, что очень важно в насыщенной разнообразной информацией публичной деятельности.

Следует отметить, что положительный имидж учебного заведения формируется только на основе устойчивой качественной образовательной услуги. Определение качества в образовательной системе является проблемой, требующей привлечения системы экспертных оценок данных.

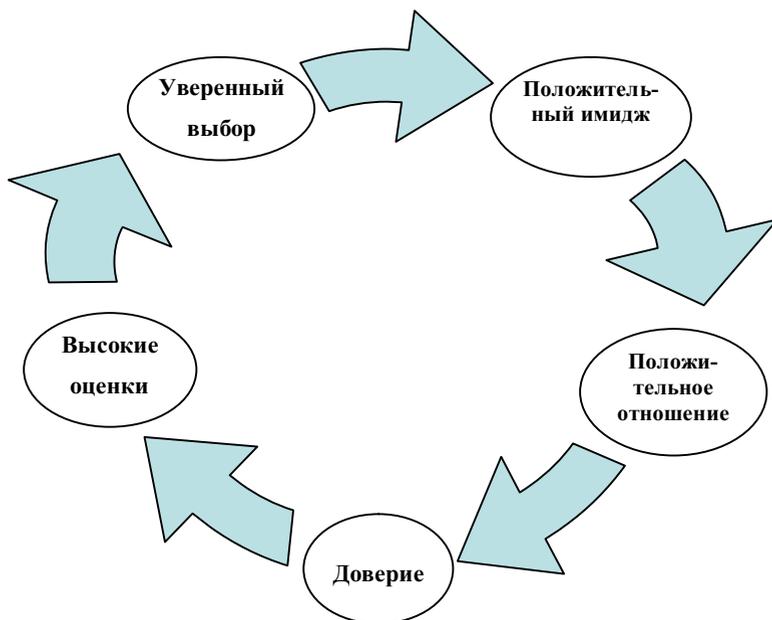


Рис. 1. Психологическая цепочка влияния положительного имиджа на конкурентоспособность учебного заведения

Таким образом, *имидж* – это не только *средство, инструмент управления*, но и *объект управления*. Поэтому прежде чем говорить об управлении этим объектом, необходимо уточнить смысл понятия «управление имиджем учебного заведения».

На Западе управление имиджем учебного заведения уже давно является одним из неотъемлемых элементов стратегического менеджмента [4]. Так, согласно ресурсному подходу, разработанному учеными [5], управление имиджем организации является ее неосязаемым активом и, наряду с остальными компонентами, выступает реальным источником конкурентоспособности и ключевым фактором адаптации любого учебного заведения к внешним условиям.

Следует отметить, что, согласно гарвардской парадигме [6] невидимые, неосязаемые активы учебного заведения должны быть оригинальными по сравнению с конкурентами, трудно имитируемыми и трудно заменяемыми. Суть ресурсной ориентации и заключается в том, что если учебное заведение осуществляет выбор и комбинацию ресурсов лучше, оригинальнее, быстрее конкурентов, то ему гарантирован конечный рыночный успех.

Управление имиджем учебного заведения – это процесс, который включает в себя формирование устойчивых представлений у клиентов, партнеров и общественности о престиже учебного заведения, качестве его образовательных услуг, репутации руководителей. Положительный имидж позволяет учебным заведениям обеспечивать рост лояльности и

поддержки партнеров, потребителей услуг, персонала, региональных и муниципальных властей и средств массовой информации.

Необходимость управления имиджем образовательных учреждений определяется следующими причинами:

- во-первых, сложная демографическая ситуация усиливает конкуренцию среди образовательных учреждений в борьбе за набор учащихся и сохранение контингента;
- во-вторых, сильный позитивный имидж облегчает доступ образовательных учреждений к лучшим возможным ресурсам: финансовым, информационным, человеческим и т.д.;
- в-третьих, имея сформированный позитивный имидж, учреждение при прочих равных условиях становится более привлекательным для педагогов, так как предстает способным в большей степени обеспечить стабильность и социальную защиту, удовлетворенность трудом и профессиональное развитие;
- в-четвертых, устойчивый позитивный имидж дает эффект приобретения образовательным учреждением определенной силы, в том смысле, что создает запас доверия ко всему происходящему в стенах учреждения, в том числе к инновационным процессам.

Процесс управления имиджем – это процесс, в ходе которого создается некий спланированный образ на основе имеющихся ресурсов. Но как понять, какой именно образ наиболее предпочтителен для «нужной» целевой аудитории? И как определить объем и специфику необходимых ресурсов? Очень часто бывает, что руководители и не подозревают, как много возможностей имеется в учебном заведении для создания позитивного имиджа. Причем именно решение этой задачи может существенно обогатить и сам педагогический процесс, дело лишь в правильном распределении общих усилий.

Современное учебное заведение, особенно негосударственное, находится в постоянном поиске стратегий усиления собственного положения на рынке образовательных услуг. Однако далеко не всеми еще осознан тот факт, что одной из наиболее эффективных стратегий достижения данной цели может выступать целенаправленное построение стратегии управления имиджем учебного заведения.

Все вышперечисленное делает актуальным управление имиджем образовательных учреждений, а одним из эффективных методов управления этим процессом может стать проектный подход. Модель формирования и управления имиджем учебного заведения с использованием проектно-ориентированного подхода можно рассматривать как динамическую совокупность пяти взаимосвязанных управленческих процессов (этапов), логически вытекающих один из другого. В то же время существует устойчивая обратная связь и влияние каждого процесса на остальные. На рис. 2 представлена модель процесса формирования и управления имиджем учебного заведения.



Рис. 2. Модель процесса формирования и управления имиджем учебного заведения

1. Процесс идентификации качественных характеристик учебного заведения – этап 1. Под ним подразумевается подробный анализ всех качеств, свойств, возможностей, недостатков и преимуществ учебного заведения в сравнении с конкурентами. На данном этапе начинает разрабатываться миссия учебного заведения – стратегическая цель, выражающая смысл существования, общепризнанное значение организации, роль, которую учебное заведение хочет играть в обществе. Окончательный вариант миссии можно утвердить лишь после анализа потребностей целевых групп учебного заведения (ЦГ УЗ).

2. Процесс выявления и анализа потребностей целевых групп – этап 2. Выявить целевую аудиторию – значит, четко представить себе, кто будет потенциальными потребителями образовательных услуг. В качестве целевых групп могут выступать:

- студенты (как потенциальные абитуриенты, так и уже являющиеся таковыми);
- родители студентов;
- администрация учебного заведения;
- профессорско-преподавательский состав, а также иные сотрудники учебного заведения (библиотекари, технический персонал);
- работодатели;
- учебные заведения-конкуренты;
- посреднические структуры на рынке образовательных продуктов и услуг (службы занятости, биржи труда, ассоциации образовательных учреждений);
- регулирующие органы.

Детальный анализ потребностей каждой из целевых групп учебного заведения позволяет сформулировать его миссию, полагаясь не только на знание собственных возможностей, преимуществ, но и опираясь на четкие запросы целевых групп учебного заведения.

3. Процесс создания образа учебного заведения – этап 3. Для того чтобы выявить механизмы и возможности управления имиджем учебного

заведения, необходимо проанализировать, на основе каких характеристик формируется образ учебного заведения, предметно представить структуру данного образа.

В качестве компонентов образа учебного заведения выделим:

- образовательные услуги учебного заведения (востребованность предлагаемых специальностей, качество преподавания, престижность дипломов, стоимость предоставляемых услуг, возможности трудоустройства);
- профессорско-преподавательский состав учебного заведения (внешний облик, социально-демографические характеристики, общий культурный уровень, компетентность);
- основатель/руководитель учебного заведения (внешний облик, социально-демографические характеристики, психологические характеристики);
- студенты учебного заведения (внешний облик, стиль жизни, общий культурный уровень);
- внутренние социально-психологические характеристики учебного заведения (культура организации, социально-психологический климат коллектива);
- визуальные характеристики учебного заведения (архитектура, дизайн интерьера, элементы фирменного стиля, внешний облик персонала);
- социальные характеристики учебного заведения (социальные аспекты деятельности учебного заведения).

Таким образом, образ учебного заведения складывается из множества компонентов. Мнение о каждой составляющей образа учебного заведения, в свою очередь, оказывает влияние на формирование имиджа учебного заведения в целом. Однако для построения адекватной модели управления имиджем учебного заведения необходимо знать, какие из них, в силу специфики данного учебного заведения, имеют приоритетное значение? Какие компоненты имиджа учебного заведения выступают одновременно и в качестве критериев выбора данного учебного заведения?

Необходимо также отметить, что образ любой организации, сформированный на основе восприятия внешних и внутренних характеристик последней, достаточно устойчив, содержит в себе свойства стереотипов, которые, как известно, ригидны. Поэтому эффективное управление имиджем учебного заведения, на наш взгляд, возможно и необходимо в процессе контакта учебного заведения с целевой аудиторией.

4. Разработка проектов маркетинговой коммуникации с целевыми группами учебного заведения – основной процесс в разработанной модели. К таковым проектам, наиболее часто используемым в комплексе маркетинговых коммуникаций, следует отнести: рекламу, public relations, личные контакты, устные рекомендации и т.п.

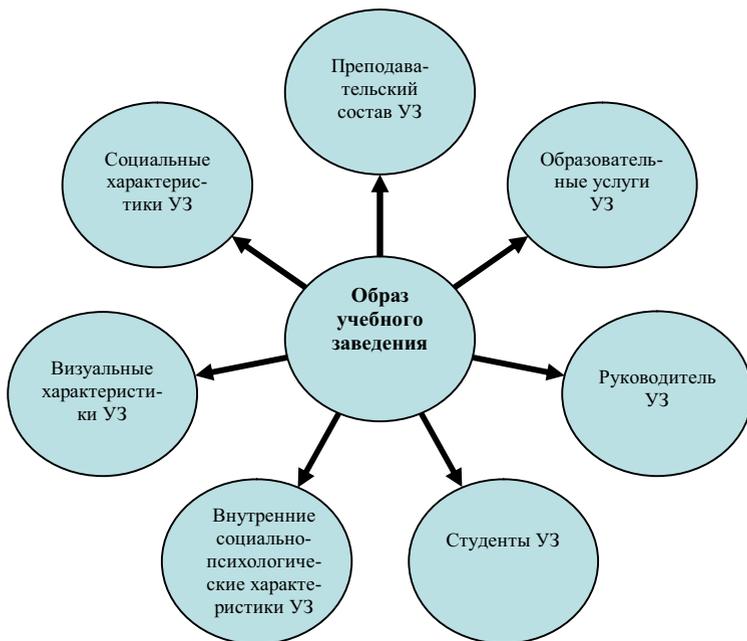


Рис. 3. Структура образа УЗ

В этих проектах необходимо сформулировать адекватное обращение (определить содержание и характер информации, рекламные аргументы) к целевым группам, грамотно подобрать средства распространения информации, ее носители; в дальнейшем систематически собирать и анализировать информацию, поступающую по каналам обратной связи, корректируя процесс коммуникации.

Как справедливо отмечают специалисты, реклама образовательных услуг повсеместно грешит отсутствием связи материала рекламы с личностью [7]. Потенциального абитуриента необходимо заечь новым стилем жизни и новым характером будущего, которые предлагает учебное заведение. Нужно четко сказать, как изменится личность человека за то время, которое будет проведено в учебном заведении, и чем ему это изменение выгодно. В последнее время среди маркетинговых коммуникационных действий, осуществляемых на отечественном рынке, растет вес мероприятий «public relations».

Учебные заведения, как правило, лишены возможности масштабно использовать традиционные и наиболее мощные средства маркетинговых средств коммуникаций. Однако у них есть возможность проведения присущих только им маркетинговых ходов, таких как дня открытых дверей, встреч выпускников, ярмарок вакансий, городских олимпиад и др. Безусловно, в этих же целях можно широко использовать контакты с аудиториями на научных конференциях, симпозиумах и т.п. по проблемам образования.

Заметим, что процесс формирования и управление имиджем учебного заведения, как, впрочем, и любой организации, определяется, прежде всего, качеством информационной работы с целевыми группами потребителей. Чем информированнее целевая группа о том или ином учебном заведении, тем положительнее ее мнение о нем. Реализацию же подобных маркетинговых ходов эффективно проводить на базе проектного подхода.

Выводы. Таким образом, управление имиджем учебного заведения необходимо рассматривать в качестве непрерывного процесса его деятельности в условиях современной конкурентной борьбы на рынке образовательных услуг. Предложенная модель процесса формирования и управления имиджем, основанная на проектном подходе, позволит эффективно использовать материальные ресурсы, а также гибко реагировать на любые изменения как внутри учебного заведения, так и во внешней среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перельгина Е.Б., Деркач А.А. Имидж как феномен интерсубъектного взаимодействия: содержание и пути развития: Монография. – М.: Международный акмеологический институт, 2003. – 635 с.*
2. *Шепель В.М. Имиджелогия. Секреты личного обаяния. – М.: Культура и спорт, ЮНИТИ, 1994. – 320 с.*
3. *Кузин Ф.А. Современный имидж делового человека, бизнесмена, политика. – М.: Ось-89, 2002. – 512 с.*
4. *Mallory Stark (2005). Creating a Positive Professional Image. – Website: <http://hbswk.hbs.edu/item/4860.html>*
5. *Щербаков А.В. Имидж образовательного учреждения // Справочник руководителя образовательного учреждения. – 2008. – № 9. – С. 39-46.*
6. *Schrage M. Serious Play: How the World's Best Companies Simulate to Innovate. – Harvard Business Review Press. – 2000. – 272 p.*
7. *Дагаева Е.А. Управление имиджем вуза // Управление персоналом. – 2005. – № 3. – С. 26-28.*

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.

ВИМОГИ ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

Редакційна колегія збірника наукових праць запрошує науковців до співробітництва в галузі інформування науково-технічної громадськості про нові теоретичні і практичні досягнення у сфері функціонування різних видів транспорту.

У журналі публікуються оригінальні та оглядові статті проблемного і дискусійного характеру.

Статті публікуються на одній з трьох мов: українській, російській або англійській.

Стаття повинна задовольняти вимогам ВАК України до публікацій статей у періодичних наукових виданнях.

Редакційна колегія приймає лише наукові статті, які мають **такі елементи**: постановка проблеми, огляд останніх досліджень і публікацій з цієї проблеми, формулювання завдання дослідження, виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів, висновки з цього дослідження, список використаних джерел.

Стаття має відповідати тематичному спрямуванню збірника і бути завізована власноручно підписом автора.

Матеріал необхідно викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Терміни та позначення повинні відповідати чинним стандартам. Не допускаються повтори, зайві подробиці при переказі раніше опублікованих відомостей – замість цього подаються посилання на літера-турні джерела. Одиниці виміру слід подавати лише за міжнародною системою одиниць SI або в одиницях, допущених до застосування в Україні згідно до вимог чинних державних стандартів.

Рекомендований обсяг статті, що включається у збірник, **не менше 6 та не більше 15 сторінок**.

Для опублікування у збірнику необхідно до підписаної всіма авторами статті та рефератів додати такі документи:

- ✓ експертний висновок;
- ✓ рецензію фахівців з науковим ступенем за профілем статті (бажано доктора економічних наук), завірену печаткою;
- ✓ рекомендацію відповідної кафедри, лабораторії або наукового підрозділу, що рекомендує статтю до друку;
- ✓ авторську довідку, якщо автор подає рукопис до Видавництва ОНМУ вперше, з зазначенням місця роботи, посади, вчених ступенів і звань, адрес і телефонів.

Рішення про публікацію статті у збірнику приймає редакційна колегія на підставі висновку рецензентів про її наукове та практичне значення.

Вимоги до оформлення тексту статті

Редакційна колегія приймає до роботи диски і один примірник роздрукованого текстового оригіналу (файлів), що є на диску. Текстовий редактор Word – файли в форматі (Word 97-2003 & 6.0/95 RTF).

Необхідно дотримуватись головної вимоги – відповідність шрифтів документа його формату. Оформлення рівнозначних фрагментів документа (заголовків, підписів під рисунками, формул тощо), позначень ідентифікаторів перемінних та констант повинно бути однаковим по всій роботі. Одна і та ж величина (фізична, хімічна, економічна тощо) повинна мати однакове начертання літер.

Текст набирається з дотриманням нижченаведених правил:

- ✓ абзаци відокремлюються один від одного одним маркером кінця абзацу (застосування цього символу в інших цілях не допускається);
- ✓ усі слова всередині абзацу розділяються тільки одним пробілом;
- ✓ перед розділовим знаком пробіли не ставлять, після розділового знака – один пробіл;
- ✓ після ініціалів (перед прізвищем), перед скороченнями і між ними ставиться нерозривний пробіл;
- ✓ виділення курсивом, напівжирним, великими літерами забезпечуються засобами Word.

Розміри полів на сторінках видання

Розмір паперу – формат А4 210 x 297 мм.

- ✓ верхнє – 2 см;
- ✓ нижнє – 3 см;
- ✓ ліве – 2,5 см;
- ✓ праве – 1,5 см.

Стиль, рекомендований для друку – Times New Roman, 14 пт; рядковий;

- вирівнювання – по ширині;
- міжрядковий інтервал – одинарний;
- заборона висячих рядків;
- режим переносу слів – відключений.

Розстановка переносу слів ручним способом забороняється

У лівому куті статті зверху проставляється індекс УДК, ініціали та прізвища авторів передують заголовку і друкуються рядковими літерами – у правому куті.

Заголовок

- ✓ відступ – 0,75;
- ✓ шрифт – Arial Сут, 14 пт, великий;
- ✓ напівжирний;
- ✓ вирівнювання – вліво.

Анотація складається **обов'язково трьома мовами**: українською, російською та англійською (обсягом до 50 слів кожна).

Ключові слова – **обов'язково трьома мовами**: українською, російською та англійською (5-10 слів) наводяться після анотації.

Далі наводяться всі обов'язкові елементи наукової статті.

Вступ

- а) постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними задачами;
- б) короткий аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор;
- в) виділення невирішених раніше питань загальної проблеми, яким присвячується стаття.

Постановка задачі – формулювання мети статті.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів з поділом його на частини з відповідними назвами

У цьому розділі рекомендується висвітлити такі питання, як:

- а) ґрунтовний огляд існуючих рішень поставленої задачі (якщо це необхідно);
- б) актуальність поставленої задачі;
- в) вибір методів, підходів, моделей та інструментів розв'язку поставленої задачі;
- г) власне розв'язок поставленої задачі;
- д) адекватність теоретичних рішень та переваги практичних рішень над існуючими;
- е) приклади застосування отриманих результатів.

Висновки

- а) підсумки даного дослідження;
- б) перспективи подальших досліджень у цьому напрямку.

Література

Список літератури подається в порядку посилання. Неприпустиме посилання на неопубліковані та незавершені праці.

Редакційна колегія звертає увагу авторів на те, що назва статті повинна коротко і максимально точно відобразити суть проведених досліджень.

Розміри для введення формул

- ✓ основний – 16 пт;
- ✓ крупний індекс – 12 пт;
- ✓ дрібний індекс – 10 пт;
- ✓ крупний символ – 18 пт;
- ✓ дрібний символ – 14 пт;
- ✓ перемінна – курсив (на 2 пт більше базового);
- ✓ функція и константи – прямий шрифт (на 2 пт більше базового);
- ✓ скорочення в індексах – прямий шрифт.

Математичні формули набирають тільки вбудованим редактором формул Microsoft Equation 3.0. Вони потребують однакового написання та розміщення елементів. Індеси та показники степеня повинні бути однаковими за розміром, але не більше ніж у два рази меншими за основну строку формули та однаково опущеними чи піднятими по відношенню до лінії основного рядка формули, щоб при зменшенні в 1,5 рази вони безпомилково читались.

Номери формул позначають арабськими цифрами у круглих дужках, розташовуючи їх біля правого краю полоси. У разі, якщо номер не вміщується у рядку формули, його виділяють у наступний за формулою черговий рядок. Біля формули, що займає декілька рядків, номер ставлять біля останнього рядка, біля формули-дробу – навпроти основної ділильної лінійки. Невеликим формулам у одному рядку, якщо вони складають єдину групу, присвоюють один загальний номер. Групу формул, розташованих окремими рядками, охоплюють справа чи зліва парантезом і номер групи розташовують проти його вістря, а якщо парантеза справа нема – проти середини цієї групи.

Якщо формула набирається у редакторі формул шрифтом Times курсивом, то і по тексту символи необхідно набирати курсивом, тобто символи по тексту повинні відповідати символам у редакторі формул.

Якщо формула набирається шрифтом Arial не курсивом, то і по тексту символи повинні відповідати формулі.

Рисунки набираються по тексту, повинні бути **згрупованими**, розмір не повинен перевищувати 10x12 см.

Підписи та надписи у графічних об'єктах (рисунках, схемах та т. інш.) неможна робити за допомогою інструменту надпису панелі інструментів (Рисування) у зв'язку з тим, що при збільшуванні чи зменшуванні графічних об'єктів текстові блоки викривлюються.

Для створення графічних об'єктів рекомендується використовувати графічні програми Paint, Corel Draw, AutoCad та інш.

Середня кількість ілюстрацій за обсягом не повинна перевищувати 20 % авторського тексту, що при розмірі 9x12 см складе 7-8 рисунків на авторський лист.

Якщо рисунок у статті один, то він не нумерується, посилання на нього робиться словом «рисунок» без скорочення, а під самим рисунком слово «рисунок» не пишеться. Підпис з експлікацією без підпису (теми зображення) неприпустиме.

Підпис завжди починають з великої літери, експлікації – з малої. Крапки у кінці підпису не ставлять. Після основного підпису, якщо далі йде експлікація, прийнято ставити двокрапку. Елементи експлікації відділяють один від одного крапкою з комою, а цифрові або буквені позначення від тексту пояснення – знаком тире.

Таблиці. Ширина таблиці повинна відповідати ширині текстового блоку видання. Розмір шрифту для набору таблиці – 14 кегль. Допускається розмір шрифту – 12 кегль.

Таблиці повинні бути надруковані у тексті після абзаців, що мають посилання на них. Таблиця має нумераційний заголовок та тематичний заголовок, що визначає її тему та зміст (без розділового знака на кінці).

Якщо в тексті одна таблиця, нумераційний заголовок не пишеться. Тематичний заголовок не пишеться у таблиці допоміжного характеру, у такій, що немає самостійного значення.

Основні вимоги до тематичного заголовка – точність, відповідність призначенню, зміст таблиці, виразність та короткість.

Над таблицею, що продовжується, пишеться нумераційний заголовок «Продовження табл. _ », якщо вона не закінчена, або «Закінчення табл. _ », якщо закінчена.

Текст таблиці не повинен виходити за лінії, що обмежують графі. Числа у таблиці, що мають більше чотирьох цифр, повинні ділитися на класи по 3 цифри, інтервалом у один пробіл (виняток номери та дати).

Таблиці повинні бути закритими з боків та внизу. Графу «Номер з/п» давати тільки тоді, коли є посилання на цю нумерацію.

Заголовки граф ставлять у називному відмінку однини чи множини без довільного скорочення слів.

У одноярусній головці усі заголовки пишуться з великої літери.

У дво- і багатоярусній головці заголовки верхнього ярусу пишуться з великої літери, а заголовки наступних ярусів – з великої літери, якщо вони граматично не підпорядковуються заголовку верхнього ярусу, що стоїть над ними.

Примітки та виноски за змістом таблиці необхідно друкувати тільки під таблицею.

Виноски позначаються зірочкою.

Матеріали і документи, які не повністю оформлені або не відповідають усім вимогам, не розглядаються.

УВАГА!

Матеріали, що подаються для опублікування, повинні бути актуальними, виключати паралелізм та дублювання.

Передрукування та будь-яке використання матеріалів здійснюється з обов'язковим посиланням на збірник.

Автори несуть повну відповідальність за науковий зміст, точність фактичних даних, посилань на джерело, а також ілюстративного матеріалу і цитат.

Редакція не завжди поділяє позицію авторів публікацій.

Приклади бібліографічного опису документа

Опис книги одного автора

Іванов О.К. Економічний аналіз: Учбовий посібник/ О.К. Іванов. – СПб.: Вид. СПбГТУ, 1998. – 88 с.

Опис книги двох авторів

Гаврикова Т.А. Дислокация в кристаллах: Учебн. пособие / Т.А. Гаврикова, Б.А. Зыков. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – 72 с.

Опис книги трьох авторів

Сергеев К.Г. Физические методы контроля качества материалов и продукции: Учебн. пособие / К.Г. Сергеев, Н.А. Столярова, И.И. Горшков. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – 52 с.

Опис книги під редакцією

Пористые проницаемые материалы: Справ./ Под ред. С.В. Белова. – М.: Металлургия, 1987. – 333 с.

Опис методичних вказівок

Управление проектами: Метод. указания / В.П. Капитанов. – Одесса: Изд-во ОНМУ, 2005. – 37 с.

Опис складової частини видання

Ильф И.А. Источник веселья / И.А. Ильф, Е.П. Петров // Собр. соч.: В 5 т. – М., 1961. – Т.5. С.94-97.

Опис статті зі збірника, книги

Кириллов В.Н., Демидюк А.В., Тонюк В.И. Экспериментальная установка для исследования гидродинамических характеристик продольной качки моделей судов // Вісник ОДМУ. – Одеса: Вид-во ОДМУ. – 1998. – № 1. – С.90-93.

Опис статті з журналу

Вечорин Е.Л., Константин Петрович Боклевский / Е.Л. Вечорин // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 1999. – № 1(15). – С. 113.

Синтез перенасыщенных аналогов пенициллина / Е.Ф. Панарин, М.В. Соколовский, М.Б. Беров, М.А. Жукова // Изв. АН СССР. Сер. хим. – 1974. – № 10. – С. 2300-2303.

Опис статті з газети

Немировский Е.Л. Первопечатник Иван Федоров / Е.Л. Немировский // Лит.газ. – 1984. – 5 мая. – С.16.

Опис стандартів

ГОСТ 7.1-84 СИБИД. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила оформления. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 76 с.

Опис патентних документів

А.с. 1254421 СССР, МКИ G 03 G 15/00. Электрографический микрофильмирующий аппарат / А.Г. Арутюнов (СССР). Опубл. 23.06.86. Бюл. № 32.

Опис авторефератів дисертацій

Касимовский Н.И. Разработка оксидного катализатора: Автореф. дис. ... канд. техн. наук // Н.И. Касимовский; ЛТИ им. Ленсовета. – Л., 1988. – 16 с.

Опис дисертації

Талишинский Р.Р. Документализм в публицистике: Дис. ... канд. филол. наук / Р.Р. Талишинский; Моск.гос.ун-т. – М., 1986. – 203 с.

Опис іноземних літературних джерел підпорядковується тим же правилам. Наприклад:

Wyner F. The wire-tap channel / A. Wyner // Bell Sistem Technical J. – 1975. – Vol. 54. – № 3. – P. 1355-1387.

Наукове видання

ВІСНИК
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Збірник наукових праць

Випуск 1 (37)

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 26.04.13.
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 24,8.
Замовлення № 247

Надруковано у Видавництві ОНМУ
65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.
Тел. 728 31 14