

ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

49

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**ВІСНИК
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Збірник наукових праць

ВИПУСК 3 (49)

Заснований у червні 1997 року

Одеса – 2016

ОДЕСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№ 3 (49)
2016

Заснований у червні 1997 року

Виходить 4 рази на рік

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

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

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

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

д-р фіз.-мат. наук, проф.	<i>Андронов І.Л.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Івановський В.Г.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Вассерман О.А.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Іванченко О.О. (Росія)</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Гришин В.О.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Козляков В.В.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Гришин А.В.</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Ланкіна І.О.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Дубровський М.П.</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Махуренко Г.С.</i>
д-р техн. наук	<i>Дульнєв О.І. (Росія)</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Постан М.Я.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Єгорев Г.В.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Сизов В.Г.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Єзунов К.В.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Яровенко В.О.</i>

Рекомендовано до друку Вченою радою
Одеського національного морського університету
(протокол № 4 від 26 жовтня 2016 р.)

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

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

© Вісник Одеського національного морського університету, 2016

ГІДРОДИНАМІКА, ТЕОРІЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ КОРАБЛЯ

Егоров Г.В., Тонюк В.И. «Азовские / Каспийские пятитысячники» – сухогрузные многоцелевые суда проекта RSD18	5
Егоров Г.В., Егоров А.Г. Предпосылки создания пассажирских судов местных и межрегиональных линий нового поколения	17
Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Тонюк В.И., Калугин Я.В., Егоров А.Г. Новые суда и паромы для обеспечения линейных перевозок пассажира по водным коммуникациям	45
Ефремова Н.В., Федорова Е.Ю., Рожко Е.Ю. Применение метода деформируемых координат к определению характеристик волнения конечной амплитуды на глубокой воде и мелководье	70

ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Данилян А.Г., Парфёнова О.Р. Моделирование процесса технической эксплуатации главного двигателя MAN B&W 5L90MC на тренажере KONGSBERG NEPTUNE	81
Данилян А.Г., Чимшир В.И., Власов И.В., Найденов А.И. Новые направления глубокой утилизации тепла судовых дизелей	91
Панченко Т.Д., Челабчи В.В., Челабчи В.М. Моделювання розгалужених суднових систем	104

БУДІВЕЛЬНА МЕХАНІКА, МЦНІСТЬ СУДЕН ТА СПОРУД

Федорова К.Ю. Дослідження напружено-деформаційного стану берегоукріпних споруд	116
---	-----

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Корниец Т.Е., Смаркалова А.К. Об организации информационного обеспечения технической эксплуатации перегрузочного оборудования на портовом терминале	123
---	-----

ЗМІСТ

УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ І ПРОГРАМАМИ

Беспалова А.В., Кныш А.И., Дашковская О.П., Файзулина О.А. Методологические подходы к прогнозированию и оценке энергоэффективных систем строительного производства	133
Вітюк А.М., Вітюк М.В., Машін В.М. Застосування методології нечіткої логіки для вирішення задачі «кількісний зв'язок структура-властивість»	142

ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ

Bredneva V., Kosharskaya L., Linetskaya A. Drawing training of students – main basis engineers' education	152
АВТОРИ ЗБІРНИКА	158
ВИМОГИ ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ	161

УДК 629.553

Г.В. Егоров, В.И. Тонюк

**«АЗОВСКИЕ / КАСПИЙСКИЕ ПЯТИТЫСЯЧНИКИ» –
СУХОГРУЗНЫЕ МНОГОЦЕЛЕВЫЕ СУДА ПРОЕКТА RSD18**

Описано создание концепта сухогрузного судна смешанного плавания проекта RSD18. Выполнен детальный анализ основных характеристик, а также их сравнение с характеристиками судов-аналогов.

Ключевые слова: водный транспорт, речные суда, суда смешанного река-море плавания, судостроение, проектирование, эффективность.

Описано створення концепту суховантажного судна змішаного плавання проекту RSD18. Виконаний детальний аналіз основних характеристик, а також їх порівняння зі характеристиками суден-аналогів.

Ключові слова: водний транспорт, річкові судна, судна змішаного ріка-море плавання, суднобудування, проектування, ефективність.

Creation of concept of river-sea dry-cargo vessel of RSD18 project is described. The detailed analysis of main characteristics and its comparison with characteristics of vessels-analogues are executed.

Keywords: water transport, river vessels, mixed river-sea navigation vessels, shipbuilding, design, efficiency.

Постановка проблемы. Классические представления о партионности грузов в море и в реке с учетом реальных путевых условий, по сути, полностью определяют главные параметры судна смешанного река-море плавания.

Ярким примером такого влияния условий являются сухогрузные суда проекта RSD18. Судходная компания – заказчик проекта исходила из того, что судно должно было перевозить 5000 тонн сухого груза, в первую очередь зерна, при осадке 4,20 м в море (порты Азовского и Каспийского море) при гарантированной грузоподъемности 3000 тонн в реке (в реке быть не хуже судов типа «Омский», в том числе при осадках до 3,20 м).

При этом оно должно было быть простым, так как предполагалось строительство в Китае и поэтому относительно недорогим. Отсюда рациональный выбор класса судна по району плавания (II-R2) и по ледовой категории (судно «южного» типа, Lu1-Ice1); применение люковых закрытий съемного типа с козловым судовым краном; сухие отсеки в двойном дне, не используемые для размещения балласта (за счет балласта в широких двойных бортах и дитпанках); обычная пропульсия с винтами фиксированного шага и, главное, широчайшее использование оборудования китайского производства.

Целью статьи является обоснование и описание создания технологически простого и экономически выгодного концепта для перевозки грузов в Азово-Черноморском и Каспийском регионах.

Изложение основного материала. Суда проекта RSD18 в соответствии с принятой в Бюро классификацией [2] относятся к «азовским пятитысячникам», то есть к классу азовско-каспийских «коастеров», которые имеют при характеристической в российских портах Азовского моря и портах Каспия (Астрахань, Нека) осадке 4,20 м грузоподъемность около 5000 тонн.

Назначение судов проекта RSD18 состоит в транспортировке генеральных, навалочных, лесных, зерновых и крупногабаритных грузов, контейнеров международного стандарта, опасных грузов классов 1.4S, 2, 3, 4, 5, 6.1, 8, 9 и Приложения В Кодекса ВС, угля.

Эксплуатация предусматривается в Азовском, Черном, Средиземном, Каспийском, Балтийском, Белом, Северном морях, включая рейсы вокруг Европы зимой. Габариты позволяют судам эксплуатироваться также на внутренних водных путях (ВВП) Российской Федерации – через Волго-Донской и Волго-Балтийский каналы. Не случайно компания-заказчик первоначально предполагала работать с элеваторов, расположенных на реке Волга, к клиентам в Турции, Египте, Греции, Африке.

Суда могут работать на пониженных осадках в реке 3,20-3,40 м. Например, при осадке 3,40 м в пресной воде дедвейт составляет 3530 тонн, что позволило заказчику считать это проект в реке неким современным аналогом сухогрузных судов типа «Омский» (проектов 1743, 1743.1) и соответственно перспективной заменой многочисленных существующих судов проектов 1557, 614, 488А, 488АМ2/3/4, 2-95, 2-95А/Р, 92-13/040, 1743, 1743.1, 1743.3, 1743.7, 05074А, 791, столь популярных у частных судоходных компаний [3].

Проект судна разработан Морским Инженерным Бюро на класс РС КМ ★ Ice1 R2 AUT3 и удовлетворяет всем требованиям международных конвенций, действующим на дату закладки соответствующих судов серии.

Архитектурно-конструктивный тип – стальной однопалубный двухвинтовой теплоход, с баком и ютом, с кормовым расположением рубки и машинного отделения, с двойным дном и двойными бортами в районе грузовых трюмов, тремя трюмами, с наклонной носовой и транцевой кормовой оконечностями (см. рисунок 1).

В носовой оконечности расположены форпик, шахта лага и эхолота, шкиперская, малярная, общесудовая кладовая, а также носовое подруливающее устройство типа «винт в трубе» мощностью 120 кВт.

В кормовой оконечности судна расположены МО, надстройка юта и трехъярусная рубка со служебными и жилыми помещениями для экипажа численностью 12 человек (14 мест). Ходовой мостик выполнен с круговым обзором и минимальными зонами затенения.

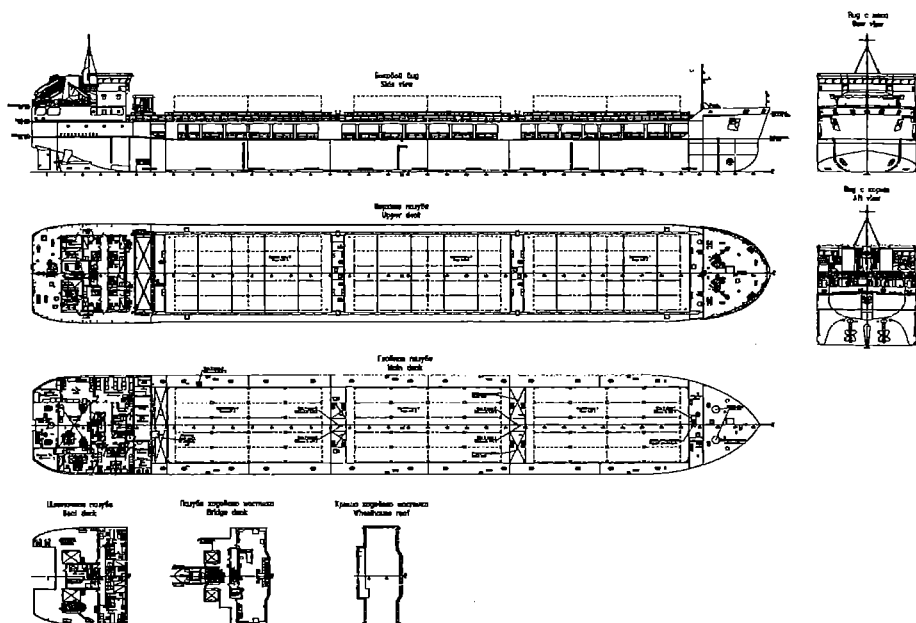


Рис. 1. Общее расположение судна проекта RSD18

В соответствии с рекомендациями [1] применение продольной системы набора палубы, бортов и днища в средней части в сочетании с увеличением поперечной шпации и одновременном уменьшении шпации продольного набора обеспечило более полное участие пластин корпуса в общем изгибе и лучшее восприятие локальных нагрузок при швартовках, сохранение приемлемого внешнего вида.

Мидель-шпангоут судна приведен на рисунке 2.

Трюма выполнены ящичной формы, гладкостенными, удобными для проведения грузовых работ и размещения груза без штивки. Размеры грузовых трюмов – 27,30 x 12,7 x 8,36 м, что гарантирует размещение трех ярусов контейнеров международного стандарта высотой до 8,5 футов.

Грузовые трюма оборудованы съемными люковыми закрытиями типа «Lift Away», впервые примененные в отечественной практике на судах проекта 005RSD03 типа «Карелия» [5] и проекта 003RSD04 типа «Каспиан Экспресс». Открытие и закрытие секций осуществляется при помощи козлового крана, расположенного «по-походному» у носовой переборки жилой рубки. Одной из особенностей данного типа люковых закрытий является возможность открытия трюма в любом месте путем подъема соответствующей секции закрытия.

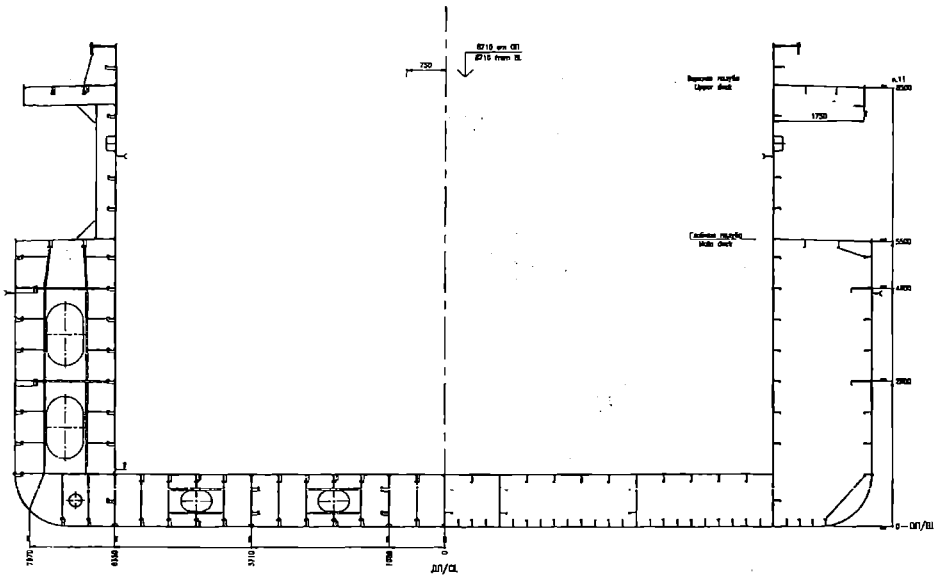


Рис. 2. Мидель-шпангоут судна проекта RSD18

Расчетная нагрузка на люковые крышки составляет $3,50 \text{ т/м}^2$ (трюм 1) и $2,60 \text{ т/м}^2$ (трюма 2 и 3), что соответствует требованиям Международной Конвенции о грузовой марке и дает возможность размещения на них каравана лесных грузов высотой 2,5 м или одного яруса контейнеров максимальной массы.

Теоретический корпус судна, полученный с помощью современных методов CFD-моделирования на основе создания параметрической трехмерной модели поверхности, имеет цилиндрическую вставку протяженностью $0,621L$, коэффициент общей полноты $0,872$, коэффициент полноты ЛГВЛ – $0,933$. Основная особенность этих обводов – применение носовой оконечности, ориентированной на батоксную схему обтекания, характерную для широких судов с относительно небольшой осадкой. Корма спроектирована с учетом необходимости размещения традиционного двухвального пропульсивного комплекса и оптимизирована для обеспечения нормальной работы винто-рулевого комплекса.

Носовая оконечность цилиндрической формы была оптимизирована с целью уменьшения волнового сопротивления.

Движение и управляемость судна обеспечивается двумя открытыми винтами фиксированного шага диаметром 2,60 м и двумя подвесными балансирными рулями. Гребные винты выполнены из легированной стали и имеют следующие характеристики: 4-лопастные, дисковое отношение – $0,55$, шаговое отношение – $0,7$, шаг винта – $1,82 \text{ м}$. Направление вращения: винт правого борта – правое, винт левого борта – левое. Привод к винтам механический через редукторы от главных дизелей. Площадь

каждого пера руля – 6,6 м². Рулевое устройство обеспечивает перекладку полностью погруженных рулей с 35° одного борта на 35° другого борта при максимальной скорости переднего хода и перекладку рулей с 35° одного борта на 30° другого борта за время не более 28 секунды при максимальной осадке.

Корпус судна был подкреплён на ледовую категорию Ice1, который предполагает круглогодичное плавание в незамерзающих морях, в мелкобитом разреженном льду неарктических морей (эпизодическое самостоятельное плавание в мелкобитом разреженном льду толщиной 0,40 м со скоростью 5 узлов; плавание в канале за ледаколом в сплошном льду толщиной 0,35 м со скоростью 3 узла); а также работу в условиях продленной навигации в реках соответственно ледовому классу Ice1 при температуре наружного воздуха минус 20 °С. Расчетная температура наружного воздуха 30 °С при влажности 65 % летом и -25 °С при влажности 85 % зимой, воды от 27 °С до 0 °С соответственно.

Выбранная ледовая категория обеспечивает зимнюю эксплуатацию в Азовском и Каспийском морях.

В качестве материала основных конструкций корпуса применяется судостроительная сталь категорий РСД36, РСА36, РСД и РСА. Верхняя часть непрерывных продольных комингсов люков и верхняя палуба выполнены из судостроительной стали категории РСД36 с пределом текучести 355 МПа. Элементы конструкций палуб бака и юта, жилая надстройка – из стали категории РСА.

Корпус имеет двойное дно, двойные борта, главную и верхнюю палубы с шириной раскрытия 0,77В, непрерывные продольные комингсы грузовых люков высотой 3810 мм (от главной палубы). Высота двойного дна 1000 мм, ширина бортовых цистерн 1900 мм.

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

Между трюмами расположены вертикальные диптанки, предназначенные для размещения балласта. Применение диптанков исключило подпалубные карманы в трюмах, тем самым полностью работы по штивке грузов и улучшив условия зачистки трюмов.

Наличие на судне диптанков и широких вторых бортов также дало возможность выполнить в двойном дне сухие отсеки и не использовать указанные отсеки для размещения балласта. Это, в свою очередь, позволило уменьшить вес металлических конструкций двойного дна и увеличило срок службы антикоррозионных покрытий. Понятно, что отсеки второго дна являются наименее ремонтпригодными и исключение приема балласта в них дает реальный экономический эффект при выполнении освидетельствований и ремонта судна.

Поперечные переборки выполнены плоскими. Верхняя и главная палубы, днище и второе дно, борт и второй борт выполняются по продольной системе набора, в оконечностях и машинном отделении – по поперечной системе набора.

Второе дно рассчитано на интенсивность распределенной нагрузки 7,5 т/м², а также на работу грейфером.

Исходя из результатов расчетного определения сопротивления судна, в состав главной энергетической установки включены два среднеоборотных дизеля китайского производства фирмы «W-CXZ», выпускаемые по лицензии MAN B&W, со спецификационной максимальной длительной мощностью (МДМ) 1120 кВт каждый. Главные двигатели работают на тяжелом (IFO180) и дизельном топливе.

Запасы топлива размещаются в диптанках в районе носовой переборки МО.

Электроэнергетическая установка сухогруза состоит из трех дизель-генераторов мощностью по 160 кВт каждый и одного аварийного дизель-генератора мощностью 80 кВт. Приводные двигатели генераторов работают на дизельном топливе.

Предусмотренные судовые устройства обеспечивают выполнение всех требований надзорных органов к судам данного типа.

Спуск и подъем носовых и кормового якорей выполняется якорно-швартовными лебедками. Якоря убираются в ниши.

В качестве спасательных средств используется спасательная свободнопадающая шлюпка вместимостью 16 человек, спускаемой устройством гравитационного типа с гидравлической шлюпочной лебедкой как методом свободного падения, так и контролируемым спуском, а также два плота вместимостью по 16 человек каждый. Плот, установленный по правому борту на шлюпочной палубе, спускаемого типа. Кроме того, на судне в районе носовой оконечности установлен сбрасываемый плот вместимостью 6 человек. На шлюпочной палубе по ПрБ установлена дежурная шлюпка вместимостью 6 человек. Подъем и спуск дежурной шлюпки и спускаемого плота осуществляется краном.

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

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

Для приема и выдачи балласта на судне имеется балластно-осушительная система, обслуживаемая двумя электроприводными центробежными насосами.

Управление судном, главной энергетической установкой, винто-рулевым комплексом, подруливающим устройством, радионавигационными средствами осуществляется из центрального объединенного поста управления в рулевой рубке. Автоматизированная система предусматривает управление судном без несения постоянной вахты в машинном отделении. Объем и степень автоматизации технических средств судна соответствует знаку автоматизации АЗ в символе класса судна в соответствии с Правилами РС.

Для размещения экипажа численностью 12 человек и 2 практикантов, предназначаются 2 одноместных блок-каюты, 8 одноместных кают и одна двухместная каюта с санузелом и душем. Общее число мест – 14.

Как известно, среди сухогрузных судов смешанного река-море плавания особое положение [4] занимают суда проектов 1557, 614, 488А, 488АМ2/3/4, 2-95, 2-95А/Р, 92-13/040, 1743, 1743.1, 1743.3, 1743.7, 05074А, 791 грузоподъемностью в реке при осадках 3,40-3,60 м около 3000 т. Они составляют примерно 60% от общего числа судов подобного назначения и являются основным транспортным средством значительной части российских судоходных компаний. Особая роль этих судов состоит в том, что грузоподъемность 3000 т соответствует исторически сложившейся на отечественном рынке партионности, равной массе груза, перевозимого одним железнодорожным составом в 50-52 вагона. Это обстоятельство позволяет транспортировать массовые грузы из речных портов России в порты Европы и Средиземного моря без промежуточного хранения на складах порта и, соответственно, без дополнительных расходов на перегрузку и хранение.

Принципиальным отличием работы судов данного класса в современных экономических условиях является интенсивная эксплуатация в осеннее-зимний период с морских портов, где проходные осадки больше, чем в реке, что позволяет увеличить морскую грузоподъемность до уровня, соответствующего минимальному надводному борту по требованиям Международной Конвенции о грузовой марке.

Средний возраст судов класса «Волго-Балт» / «Сормовский» в настоящее время составляет более 30-35 лет, что вполне обуславливает настоятельную необходимость пополнения флота новыми судами с такой же речной грузоподъемностью – судами проекта RSD18.

При этом на типичных в азовских портах осадках около 4,2 м суда проекта RSD18 будут заменой для широко известных серий судов грузоподъемностью около 5000 тонн типа «Волго-Дон» / «Волжский», средний возраст которых также перевалил за 30-35 лет.

Именно для такой цели Заказчик проекта предполагал применять сухогрузные суда проекта RSD18.

Однако в действительности эти суда сегодня используются как каспийские с характеристической в портах Каспия (Астрахань, Оля, Махачкала, Нека) грузоподъемность около 5000 т, с возможностью пере-

возки грузов (при неполной грузоподъемности) по Волго-Донскому судоходному каналу (ВДСК).

Анализ фактических грузопотоков 2004-2007 годов показывал, что основным каспийским грузом, следующим из портов России на Иран, был металлопрокат (до 85% от общего объема), который применяется в качестве полуфабрикатов для иранской промышленности, а также лес, бумага и другие генеральные грузы в относительно небольшом количестве. Из Казахстана на Иран отмечаются поставки фуражного зерна.

В порту Астрахань в 2006 году было перегружено 2160,3 тыс. тонн металлопродукции, 339,1 тыс. тонн пиломатериалов, 87,4 тыс. тонн бумаги и 17,2 тыс. тонн зерна. Кроме того, в контейнерах было перевалено 97,4 тыс. тонн генеральных грузов. 94, 5 % экспортных грузов были отправлены на порты Ирана. В 2010 году было перевалено 5748,4 тыс. тонн сухогрузов (из них 4752,4 тыс. тонн металла, 417,5 тыс. тонн пиломатериалов, 149,0 тыс. тонн зерна, 106,8 тыс. тонн генеральных грузов в контейнерах), а в 2011 году – 3270,6 тыс. тонн сухогрузов. Осуществляются операции с опасными грузами 3, 4, 5, 8 и 9 классов опасности.

В порту Оля в 2010 (2011) году было переработано 1054 (564,6) тыс. тонн сухих грузов, из них 989,5 (449,5) тыс. тонн металла. Осуществляются операции с опасными грузами 1, 2, 3, 4, 5, 8 и 9 классов опасности.

В порту Махачкала в 2010 (2011) году было переработано 837,1 (577,1) тыс. тонн сухих грузов. При этом в 2011 году кокс составил 193,1 тыс. тонн, металл – 217,5 тыс. тонн. Осуществляются операции с опасными грузами 3, 4, 5, 8 и 9 классов опасности.

В 2012 году российские порты Каспия перевалили 4,650 млн. тонн сухих грузов (691 тыс. тонн зерна, 2462 тыс. черного металла, 353 тыс. леса и др.).

По итогам 2013 года грузооборот морских портов Каспийского бассейна объём перевалки сухогрузов составил 3,0 млн. т (-33,8 % по отношению к 2012 году). Снижение объёма перевалки сухогрузов произошло в основном за счёт уменьшения перегрузки чёрных металлов (в 2,8 раза) и зерна (в 1,7 раза).

По итогам 2014 года вследствие роста объёма перевалки зерна, чёрных металлов, тарно-штучных грузов и лесных грузов объём перевалки сухогрузов достиг уровня 3,5 млн. т., что на 14,2 % больше уровня 2013 года.

При этом рост грузооборота ПАО «Астраханский порт» в 2014 году составил 150 % за счет увеличения объёмов перевалки зерна и чёрных металлов; грузооборот ОАО ГК «Армада» вырос на 42,7 % за счёт увеличения объёмов перевалки чёрных металлов. Сократили показатели объёмов перевалки грузов ОАО «Морской торговый порт Оля» на 15,1 % за счёт уменьшения объёмов перевалки черных металлов, ООО ПКФ «Центральный грузовой район» на 44,8 % за счет уменьшения перевалки навалочных и генеральных грузов.

По итогам 2015 года объем перевалки сухогрузов составил 3,1 млн. тонн. При этом объем перевалки зерна вырос на 38,3 % (1275 тыс. тонн), металла составил 918 тыс. тонн (примерно столько, сколько в 2014 году).

Поэтому представляет интерес сопоставление технико-эксплуатационных характеристик судна проекта RSD18 с соответствующими характеристиками каспийских и наиболее близких к ним судов-аналогов – судов типа «Кишинев» (пр. 1572), судов типа «Василий Шукшин» (пр. 1588) и судов типа «Русич» (пр. 00101), а также новых судов проектов 005RSD03 типа «Карелия» и RSD17 типа «Мирзага Халилов».

Согласно данным таблицы 1 при осадке по ЛГВЛ коэффициент использования водоизмещения по дедвейту находится на уровне других новых проектов Морского Инженерного Бюро, при этом энергозатраты на единицу транспортной производительности наименьшие – т.е. стоимость перемещения одной тонны груза с точки зрения расхода топлива меньше, чем у проектов – конкурентов, в том числе превосходит лучший по этому показателю из существующих судов проекта 1588 (на 2,5 %).

В целом, удельные показатели при других осадках проекта RSD18 примерно такие же, как у проекта 005RSD03 типа «Карелия», который также сейчас применяется как «каспийский» сухогруз, но при этом у RSD18 больше дедвейт по абсолютному значению (это и понятно, так как судно имеет большую длину). Таким образом, при работе в портах Каспийского моря (иранские и туркменские порты – осадка 4,5 м) проект RSD18 будет иметь экономические преимущества по сравнению со всеми другим судами, за исключением судов типа «Карелия».

При работе в море при осадке 4,20 м и в пресной воде с осадками 4,00 м и менее близкие результаты дают суда типа «Русич», но при этом суда проекта RSD18 имеют меньшие размеры и поэтому дешевле в постройке (что собственно и было поставлено как проектная «сверхзадача»).

Всего на сегодня построено пять судов этой серии (сдавались в 2011-2014 годах), шестой достраивается на плаву.

Головное судно серии «UCF-1» (ныне «Порт Оля-2», строительный номер RU-WH01) было заложено на верфи «Хуа Ся» (г. Ухань, провинция Хубэй, Китай) 20.04.07, спущено на воду – 07.10.09. Сдано в эксплуатацию верфью «Ванлонг» в городе Янгжоу (река Янцзы, Китай) 18.10.12.

Второе судно серии «UCF-2» (строительный номер RU-WH02) было заложено 20.04.07 на верфи «Хуа Ся», спущено на воду – 29.05.10.

Третье судно серии «Dragon Port» (строительный номер RU-WH03) было заложено 15.06.07 на верфи «Хуа Ся», спущено на воду – 16.06.10. Достроено и сдано в эксплуатацию верфью «Hengyu» (Нингбо, остров Джоушан, Китай) 19.09.11.

Четвертое судно серии «UCF-4» (строительный номер RU-WH04) было заложено 15.06.07 на верфи «Хуа Ся», спущено на воду – 25.06.10. Достроено и сдано в эксплуатацию верфью «Hengyu» 19.09.11.

Таблиця

Сравнение основных характеристик сухогрузного судна проекта RSD18 и подобных судов

Характеристика	пр. RSD18	пр. RSD17	пр. 005RSD03	пр. 00101 «Русич»	пр. 1572	пр. 1588
	КМ Ice1 R2 AUT3	КМ Ice2 R1 AUT1	КМ Ice2 R2 AUT3	КМ Ice2 R1 A1	КМ Ice2 R1 A1	КМ Ice2 R1 A2
Длина наибольшая, м	123,18	121,70	108,33	128,20	123,50	124,40
Длина между переборками/ларами, м	118,63	116,94	102,20	122,80	117,00	116,80
Ширина табуретная, м	16,70	16,70	16,70	16,74	15,20	16,42
Ширина, м	16,50	16,50	16,50	16,50	15,00	16,12
Высота борта, м	5,50	6,20	5,50	6,10	6,50	7,50
Кубический модуль, LBN	11314	12601	9950	13091	12202	15320
Валовая вместимость, GT	4879	4922	4182	4960	3712	4724
Чистая вместимость, NT	2618	2841	2373	2140	1786	1959
Объем грузовой трюмов (по нижнюю кромку локовок закрываний), м ³	8595	9300	7833	8090	6070	6800
Количество грузовых трюмов в трюмах, TEU	3	3	3	3	4	4
Количество, мощность (кВт) и тип главных двигателей	240 / 180	234 / 174	225 / 165	267 / 180	-	165 / 111
Скорость при осадке по ДТВЛ, узл.	24956	1x2450	2x1020	2x1140	2x810	2x1103
Двигательно-рулевой комплекс	11,0	11,5	12,0	11,0	8ДР30/50-4-2	6ЧРНП.36/45
Мощность вспомогательных ДГ, кВт	2 винта + 2 руля 3x160	1 ВРШ + руля 1x500 (ВГ) + 2x160	2 ВРК 2x160	2 винта + 2 руля 3x160	11,7	12,5
Мощность аварийного ДГ, кВт	1x80	1x160 (аварийно- стояночный)	1x85	1x85	2 винта + 2 руля 3x100	3x160
Мощность парализующего устройства, кВт	120	300	85	160	-	-
Автономность, сут.	20	20	15	20	20	30
Экипаж / количество мест	12 / 14	12 / 14	9 / 11	10 / 12	27 / 31	25
Вес судна порожнем, т	2351	2298	1988	2340	2050	2650
Осадка по ДТВЛ, м	4,67	5,06	4,792	4,34	4,855	5,84
Дедвейт, т	6125	6354	5491	3485	4723	6078
Спецификационный УПО груза, м ³ /т	1,48	1,59	1,51	1,54	1,37	1,20

Продолжение табл.

Характеристика	пр. RSD18 KM Ice 1 R2 AUT3	пр. RSD17 KM Ice 2 R1 AUT1	пр. 005RSD03 KM Ice 2 R2 AUT3	пр. 00101 «Русич» KM ЛУ2 R1 A1	пр. 1572 KM JB R1	пр. 1588 KM JI R1 A2
Класс судна						
Коэффициент использования подвозмещения по дедвейту	0,723	0,738	0,734	0,683	0,697	0,696
Энергозатраты на единицу транспортной производительности, мощность / (дедвейт × скорость), кВт/г·узл.	0,0283	0,0335	0,0310	0,0378	0,0293	0,0290
Судна 4,50 м в море						
Дедвейт, т	5753	5346	4993	5810	4145	3836
Спецификационный УПО груза, м ³ /г	1,59	1,92	1,67	1,45	1,38	1,98
Коэффициент использования подвозмещения по дедвейту	0,710	0,703	0,715	0,696	0,669	0,591
Судна 4,20 м в море						
Дедвейт, т	5175	4813	4482	5190	3673	3353
Спецификационный УПО груза, м ³ /г	1,78	2,15	1,87	1,63	1,80	2,30
Коэффициент использования подвозмещения по дедвейту	0,688	0,681	0,693	0,671	0,642	0,559
Судна 4,00 м в пресной воде						
Дедвейт, т	4619	4297	3993	4630	3237	2897
Спецификационный УПО груза, м ³ /г	2,01	2,44	2,12	1,84	2,06	2,72
Коэффициент использования подвозмещения по дедвейту	0,663	0,656	0,668	0,646	0,612	0,522
Судна 3,60 м в пресной воде						
Дедвейт, т	3882	3612	3322	3880	2645	2285
Спецификационный УПО груза, м ³ /г	2,42	2,98	2,59	2,22	2,38	3,60
Коэффициент использования подвозмещения по дедвейту	0,623	0,615	0,626	0,604	0,563	0,463

Пятое судно серии «Порт Оля-1» (строительный номер 1) было заложено 08.05.10 на верфи «Hengyu» (Нингбо, остров Джоушан, Китай). Сдано в эксплуатацию верфью «Ванлонг» 05.08.13.

Шестое судно серии «UCF-6» (строительный номер 2) было заложено 08.05.10 на верфи «Hengyu». Сдано в эксплуатацию 26.12.14.

Выводы. Таким образом, был создан концепт сухогрузного судна, который перевозит 5000 тонн груза, в первую очередь зерна, при осадке 4,20 м в море (порты Азовского и Каспийского море) при гарантированной грузоподъемности 3000 тонн в реке (в реке как аналог судов типа «Омский», в том числе при осадках до 3,20 м).

Концепт имеет рациональный класс судна по району плавания (II - R2) и по ледовой категории (судно «южного» типа, Lu1-Ice1); относительно простые люковые закрытия съёмного типа с козловым судовым краном; сухие отсеки в двойном дне; обычная пропульсия с винтами фиксированного шага. В нём широко используется, с целью удешевления, оборудование китайского производства.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров Г.В. *Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска*. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
2. Егоров Г.В. *Обновленная линейка многоцелевых сухогрузных судов смешанного плавания и коастров Морского Инженерного Бюро // Морская Биржа*. – 2011. – № 3 (37). – С. 38-42.
3. Егоров Г.В. *Сухогрузные суда смешанного плавания. Перспективы существующего флота // Проблемы техники*. – 2012. – № 2. – С. 3-21.
4. Егоров Г.В. *Сухогрузные суда в экономики России XXI века // Морская Биржа*. – 2012. – № 4 (42). – С. 24-34.
5. Егоров Г.В., Тонюк В.И. *Двенадцать многоцелевых сухогрузных судов дедвейтом 5500 тонн проекта 005RSD03 типа «Россиянин» // Судостроение*. – 2015. – № 1. – С. 9-17.

Стаття надійшла до редакції 15.11.2016

Рецензенти:

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

доктор технічних наук, професор, головний науковий співпрацівник Морського Інженерного Бюро, науковий консультант
В.В. Козляков

УДК 629.5

Г.В. Егоров, А.Г.Егоров

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ МЕСТНЫХ И МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ ЛИНИЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Показана необходимость создания и строительства современных экономических судов для обеспечения линейных перевозок пассажиров. Проанализирован опыт таких перевозок на примере Архангельска, Якутии и Ленинградской области.

Ключевые слова: пассажирское судно, паром, проектирование, основные характеристики, путевые условия, вариантность, экономичность, социальная задача.

Показано необхідність створення й будівництва сучасних економічних суден для забезпечення лінійних перевезень. Проаналізовано досвід таких перевезень на прикладі Архангельська, Якутії та Ленінградської області.

Ключові слова: пасажирське судно, пором, проектування, основні характеристики, путівні умови, варіантність, економічність, соціальна задача.

Necessity of creation and building of modern economic vessels for liner services providing is shown. Experience of such transportations on the example of Arkhangelsk, Yakutia and Leningrad region is analyzed.

Keywords: passenger vessel, ferry, design, main characteristics, way conditions, variability, economic efficiency, social task.

Постановка проблемы. Судя по многочисленным запросам региональных властей и граждан (Архангельск, Печора, Свирь, Самара, Амур, Якутия, Астрахань, Волгоград, Севастополь, Херсон и др.), проблема водных пассажирских перевозок по мере выхода из строя существующих судов и их старения (ужесточение после трагедии «Булгарии» и «Иволги» требований надзорных органов, резкое возрастание объемов ремонтов, отсутствие запчастей на старое оборудование), становится все более острой.

Таким образом, проблема создания пассажирских и грузопассажирских судов нового поколения для местных и межрегиональных линий представляется актуальной и важной для воднотранспортной отрасли.

Целью статьи является обоснование необходимости строительства судов нового поколения на основе анализа состояния пассажирских перевозок (например, на ярком примере обеспечения доступности островных территорий города Архангельска в дельте реки Северная Двина,

Якутии) и существующего флота пассажирских и грузопассажирских судов, эксплуатирующихся на местных и межрегиональных линиях, а также эксплуатационных условий.

Изложение основного материала. По данным официальной статистики в 2010 г. речным транспортом было перевезено, в подавляющем большинстве на регулярных линиях, 16,5 млн. пассажиров [1]. По состоянию на 1 апреля 2011 г. лицензией на перевозку пассажиров внутренним водным транспортом обладали 744 компании. Для сведений – в 1980 году речной транспорт перевез 103 млн. пассажиров, в 2001 году – 30 млн. пассажиров.

В таблице 1 приведены данные о структуре и динамике перевозок пассажиров речным транспортом.

В 2010 г. объем перевозок сократился на 7,8 %. В целом за период с 2008 г. объем перевозок пассажиров речным транспортом сократился на 17,3 %. Снижение объемов перевозок пассажиров в 2009 г. связано с последствиями экономического кризиса 2008 г. Наблюдались закрытие пассажирских линий и продажа транспортных судов.

Снижение объемов перевозок пассажиров в 2010 г. связано с вводом в эксплуатацию моста через реку Волга в Волгограде. В таблице 2 приведены объемы перевозок пассажиров за 2009-2010 годы по зонам ответственности бассейновых управлений.

В целом в 2010 году по большинству бассейновых управлений наблюдался рост объемов перевозок. Однако снижение объемов перевозок по Волжскому ГБУ более чем на 1,5 млн. человек привело к снижению общих объемов.

Таблица 1

Объемы перевозок пассажиров речным транспортом, тыс. чел.

Регион	2008	2009	2010
Центральный	2 196	2 031	2 329
Северо-Западный	2 053	1 662	1 688
Южный	5 066	4 500	2 939
Приволжский	5 326	5 108	4 881
Уральский	958	803	800
Сибирский	2 023	1 940	1 929
Дальневосточный	2 277	1 802	1 887
ИТОГО	19 899	17 846	16 452

Источник: ЗАО «Морцентр-ТЭК»

По данным Росморречфлота¹, из 14,2 млн. перевезенных в 2011 году пассажиров основной объем перевозок – 79,%, или 11,2 млн. – приходится на транспортные перевозки, еще 21 %, или 3 млн. составляет туристический пассажиропоток.

Таблица 2

*Перевозки пассажиров речным транспортом
в зоне ответственности бассейновых управлений, тыс. чел.*

Бассейновое управление	2009 г.	2010 г.	%
Беломорско-Онежское	61,3	68	111,1
Волго-Балтийское	649,1	654,7	100,9
Московское	1338,2	1480,5	110,6
Волжское	8047,6	6453,2	80,2
Волго-Донское	11,9	13,3	111,6
Азово-Донское	444,5	441,1	99,2
Кубанское	208,7	105,9	50,7
Северо-Двинское	933,3	946,1	101,4
Печорское	17,6	19,5	111,1
Камское	1588,4	1654,6	104,2
Обь-Иртышское	1097,9	1106,8	100,8
Обское	764,3	864,6	113,1
Енисейское	276,5	260,6	94,2
Байкало-Ангарское	124,6	108,6	87,1
Ленское	772,9	626,7	81,1
Амурское	1509,2	1648	109,2
ВСЕГО	17846,2	16452	92,2

Источник: ЗАО «Морцентр-ТЭК»

В 2012 году перевозки пассажиров снизились на 3,9 % по сравнению с 2011 годом и составили 13,8 млн. человек. За 2013 год перевозки пассажиров фактически на конец навигации составили 13,0 млн. человек (2012 год – 13,8 млн. человек). Пассажиरोоборот за 2013 год составил 613,1 млн. пассажира-километров, что на 5,1 % больше аналогичного показателя прошлого года (2012 год – 583,5 млн. пассажира-километров).

¹ Росморречфлот. Итоги работы морского и внутреннего водного транспорта за 2010-2015 годы

За 2014 год объем перевозок пассажиров сократился по сравнению с 2013 годом на 3,9 % и составил 12702,9 тыс. человек (Волжский бассейн – 28,5 %, Московский бассейн – 15,1 %, Северо-Двинский – 11,6 %, Обь-Иртышский – 9,5 %, Камский – 7,8 %, и Амурский – 6,8 %). Пассажиरोоборот составил 535,4 млн. пассажиро-километров. Наибольшее количество пассажиров на дальние расстояния перевезли: ООО «ВодоходЪ», ОАО «Башкирское речное пароходство», ОАО «Северрефлот».

За 2015 год перевозки пассажиров увеличились на 6,8 % по сравнению с 2014 годом и составили 13,6 млн. человек. Увеличение связано с ростом пассажирских перевозок в транспортном сообщении, на экскурсионно-туристических маршрутах объемы перевозок туристов были снижены.

Значительную долю в транспортном сообщении обеспечили судходные компании: ОАО «СК Татфлот», ООО «Пассажирский порт Волгоград», ОАО «Архангельский речной порт», «Жилкомсервис» (г. Сыктывкар), ОАО «Тобольский речной порт», ОАО «Северречфлот», ОАО «Пассажирречтранс», ЗАО «Амурские пассажирские перевозки», ОАО «Ярославский речной порт». ОАО «Архангельский речной порт» осуществляло социально важные перевозки пассажиров островных частей Архангельской области (864 225 пассажиров).

Пассажирооборот за 2015 год составил 496,0 млн. пассажирокилометров, что на 6,1 % меньше показателя 2014 года.

Основная часть пассажиропотока формируется в регионах Поволжья и регионах Севера, Сибири и Дальнего Востока, и доходит до 1,1 млн. чел. (Самарская область) и 1,3 млн. чел. (Волгоградская область) в год. Интенсивность использования услугами речного пассажирского флота (отношение пассажиропотока к численности населения в регионе) по данным Росстата достигает 80 % (Архангельская область) и даже 87 % (Амурская область).

При этом динамика пассажиропотока неоднородна. В Ленинградской области, Республики Коми, Амурской области и Ненецком автономном округе наблюдался более чем 20-процентный рост пассажиропотока. В Ханты-Мансийском автономном округе, Республике Саха-Якутия, Ульяновской и Нижегородской областях пассажиропоток стабильно высок. В Республике Удмуртия, Кировская, Ивановская и Астраханская области отмечается падение пассажиропотока на 20 % и более.

Основу транспортного пассажиропотока (96 %) составляют перевозки по коротким (50 км и менее) маршрутам. Сюда входят:

- паромные переправы между городами, расположенными на двух берегах рек;
- маршрутное сообщение между городами и пригородами;
- сообщение между городами России и Китая на Дальнем Востоке (в том числе паромное, река Амур).

Перевозки на дальние (свыше 50 км) расстояния составляют 4 %. Такие перевозки осуществляются преимущественно в регионах Севера, Сибири и Дальнего Востока, особенно в Якутии.

Причина – из-за низкой плотности населения строительство автомобильных и железных дорог вдали от основных транспортных узлов в регионах Севера, Сибири и Дальнего Востока, как правило, нецелесообразно.

Ярким примером является Республика Саха-Якутия. При плотности населения в различных районах республики от 0,1 до 2,8 человек на кв. км строительство автомобильных и железных дорог в некоторых районах является крайне неэффективным с точки зрения экономики. Внутренний водный транспорт в период навигации является системообразующим для пассажирских перевозок: за год внутренним водным транспортом пользуется каждый третий житель Якутии (см. таблицу 3).

Таблица 3

Регионы, в которых существует пассажирооборот на дальних маршрутах

Регион	Процент населения, совершающий поездки внутренним водным транспортом, %	Примечания
Архангельская область	80	Нет мостов между островами в дельте Северной Двины. В области есть населенные пункты, к которым отсутствует подъезд, или проезд до которых водным транспортом быстрее. Автодорожное сообщение с пос. Пинега прекращается каждую весну из-за половодья. Туда направляется пароход, которым пользуются жители при поездках в Архангельск
Амурская область	87	На всем протяжении границы с Китаем по р. Амур отсутствуют мосты, в том числе между Благовещенском и Хэйхэ
Хабаровский край	68	Автодорожное сообщение между Хабаровском и соседними городами равноценно водному, что делает внутренний водный транспорт более привлекательным для некоторых жителей. Отсутствует автомобильное сообщение между Хабаровском и Николаевском-на-Амуре. По этому маршруту ходят «Метеоры».

Продолжение табл. 3

Регион	Процент населения, совершающий поездки внутренним водным транспортом, %	Примечания
Волгоградская область	52	Сообщение между городами Камышин и Николаевск, находящимися на правом и левом берегах, осуществляется с помощью паромной переправы (объезд через Волгоград 370 км). Кроме того, несмотря на наличие автомобильных дорог, многие жители предпочитают ездить за город речным транспортом, поскольку для пенсионеров это дешевле
Республика Коми	48	Паромные переправы существуют в Сыктывкаре (в районы на другой стороне р. Вычегда) и практически всех муниципалитетах внутри региона
Ярославская область	44	Отсутствует сообщение между двумя берегами Волги в г. Тутаев (объезд через мост в Ярославле 69 км). Существуют летние переправы. Основные пользователи внутреннего водного транспорта – пенсионеры. Они, как правило, не имеют собственных автомобилей и выезжают летом на Волгу на дачи
Тюменская область	39	Существует линия Тобольск – Малая Бича, на которой других дорог в летнее время нет. Все жители передвигаются внутренним водным транспортом
Самарская область	35	Отсутствуют автомобильные мосты между левым и правым берегами Волги в Самаре и Новокуйбышевске (объезд через Тольятти 170 км), Сызрани (объезд через Тольятти 200 км), между Сызранью и Новокуйбышевском существует только железнодорожное сообщение В Самаре существует муниципальный водный транспорт с восточного берега до пригорода Рождествено. Кроме того, большое количество дачных участков расположено вдоль Волги, что делает внутренний водный транспорт наиболее удобным для дачников

Продолжение табл. 3

Регион	Процент населения, совершающий поездки внутренним водным транспортом, %	Примечания
Республика Саха – Якутия	27	Другие типы сообщения в летнее время отсутствуют. Отсутствует мост между левым берегом Лены, на котором расположены Якутск и Жатай, и правым берегом, на котором находится транспортный узел Нижний Бестях, объезд отсутствует.
Ханты-Мансийский АО	25	Другие типы сообщения для многих населенных пунктов в летнее время отсутствуют
Иркутская область	21	Автомобильный транспорт почти везде дешевле, но иногда быстрее доехать по реке
Омская область	12	В некоторых муниципалитетах отсутствуют альтернативные способы передвижения
Красноярский край	7	Внутренним водным транспортом пользуются жители районов крайнего севера (маршруты Красноярск – Игарка, Красноярск – Дудинка, Енисейск – Бор, Красноярск – Бор), где отсутствует другой транспорт

Источник: Росстат

Таким образом, наличие постоянных летних маршрутов внутреннего водного транспорта и резерва судов в сезон паводков является важной составляющей жизнеобеспечения регионов, в которых недостаточно развиты автомобильные и железные дороги.

В то же время, такие регионы расположены в основном в Сибири, на Дальнем Востоке и на севере Европейской части, их количество и население невелико.

Поскольку развитие дорог в этих регионах неэффективно, пассажиропоток на внутреннем водном транспорте не может переключиться на другие виды транспорта и, скорее всего, будет сохраняться на стабильном уровне.

Одним из представительных в смысле линейных перевозок регионов, является Архангельская область. Там работает около 50 переправ и около 20 транспортных операторов и только по самому Архангельску перевозится до 1,2 млн. пассажиров в год.

Сведения об объемах пассажирских перевозок на внутреннем водном транспорте этого региона за 2011-2012 года представлены в таблице 4.

Таблица 4

*Сведения о пассажирских перевозках
на внутреннем водном транспорте в Архангельской области, чел.*

Предприятия	Отправлено пассажиров во всех видах сообщения		
	2011	2012	% измен.
ОАО «Архангельский речной порт»	840 230	1 103 161	131,3
МУП «Флора-Дизайн»	27 981	24 150	86,3
ОАО «Северное речное пароходство»	12 880	11 349	88,1
ООО «Верхнетоемское дорожное управление»	11 980	45 910	383,2
ООО «ЛЗП Конецгорский»	6 620	40 099	605,7

Источник: ЗАО «ЦНИИМФ»

Основными речными пассажирскими и грузопассажирскими являются линии: Архангельск – Чубола; Архангельск – Тойватово; Архангельск – У. Пинега – Пукшеньга; Архангельск – Житовая Кошка – Кегостров; Архангельск – остров Кего; Соломбала – Хабарка – Выселки – Пустошь; Соломбала – Маймаксанский лесной порт – Лесозавод № 14; Лесозавод № 22 – Лесозавод № 23 – Лесозавод № 24; Кузнечевский лесозавод – район «Экономия» – Реушеньга – Лапоминка; Березник – Осиново (Виноградовский район); Матера – Ухтоострово, Двинской – Ныкола, Копачево – Ичково, Холмогоры – Ломоносово (Холмогорский район); переправа Верхняя Тойма (Верхнетоемский район).

Перевозки по Архангельску. На рисунке 1 схематично представлены основные городские речные переправы города Архангельска. 90 % пассажиров перевозит ОАО «Архангельский речной порт» [2].

Следует обратить внимание на наименование «Внутригородские островные пассажирские речные линии», так как именно с наличием многочисленных островов на Северной Двине и отсутствие, как правило, мостов, связывающих эти острова с остальной частью города и друг с другом, связана особая роль водного транспорта в перевозках жителей Архангельска.

Более 20 тысяч жителей города Архангельска и Приморского муниципального района, проживающих на островах дельты р. Северная Двина, нуждаются в постоянных речных внутригородских и пригородных перевозках.

Речные перевозки в Архангельске очень востребованы жителями, поскольку с некоторыми островными частями города это единственный путь сообщения в летний период [3].

Муниципалитет выделяет более 42 млн. рублей в год на датирование пассажирских перевозок по реке [2].

В период летней навигации внутригородские островные пассажирские речные линии обслуживаются речными теплоходами ОАО «Архангельский речной порт».

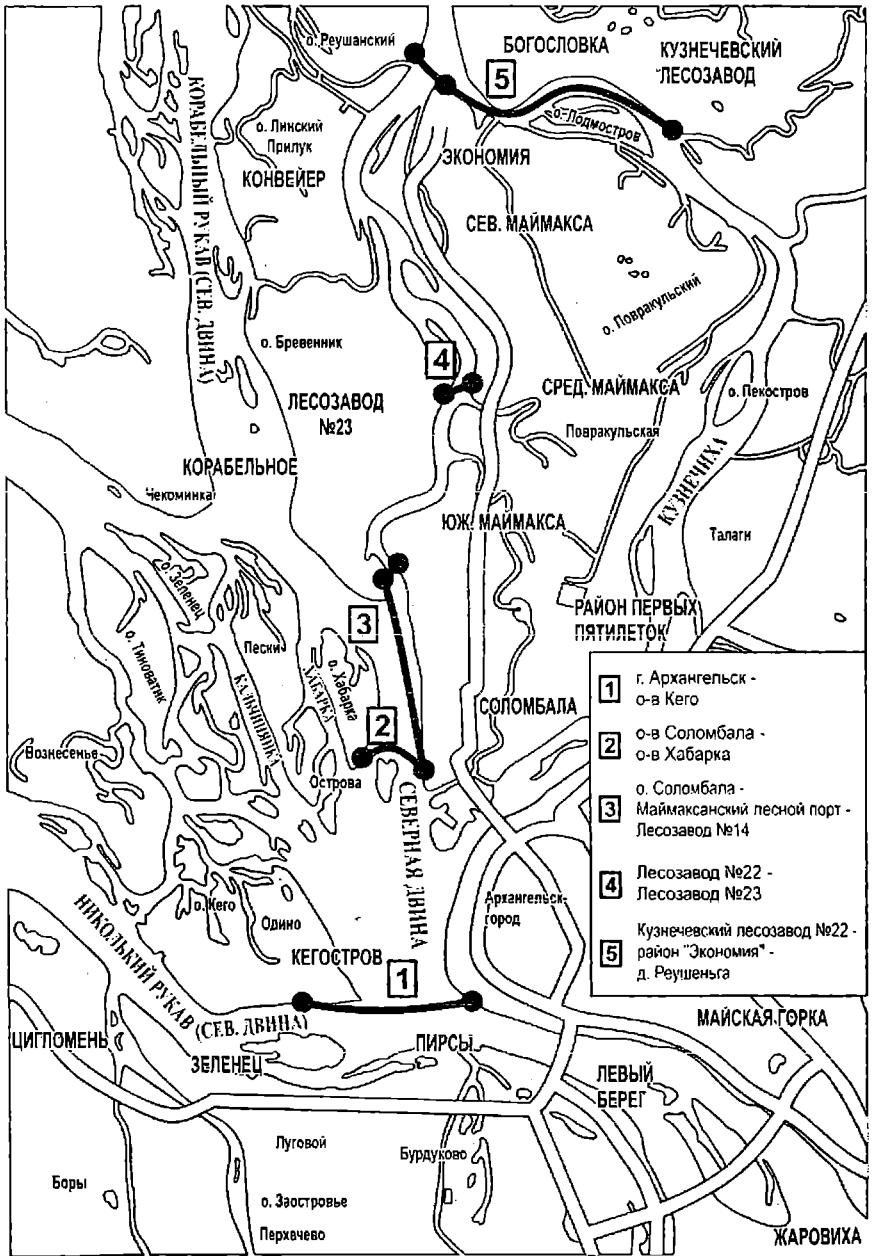


Рис. 1. Внутригородские островные пассажирские речные линии г. Архангельска

Источник: ЗАО «ЦНИИМФ»

Летом режим работы на линии Архангельск – остров Кего 12 раз в день с 06-50 по 22-30 (по Архангельску); линии остров Соломбала – остров Хабарка – Выселки – Пустошь 12 раз в день с 06-30 по 22-30 (по Соломбале); линии остров Соломбала – Маймаксанский лесной порт – Лесозавод № 14 с 06-20 по 22-00 (по Соломбале); линии Лесозавод № 22 – Лесозавод № 23 – Лесозавод № 24 17 раз в день с 06-00 по 22-10 (по Лесозаводу № 23); линии Кузнечевский лесозавод – район «Экономия» – деревня Реушеньга – Лапоминка с 06-30 по 20-30.

По данным Агентства по транспорту Архангельской области ежегодный объем перевозок пассажиров на линии «Маймаксанский лесной порт – Лесозавод № 14» составляет порядка 260 тыс. человек в год.

В соответствии с действующим расписанием на паромной переправе «Лесозавод № 14 – Маймаксанский лесной порт» судно начинает курсировать с 6-00, а в 22-40 осуществляет последнее отправление от лесозавода № 14. Периодичность рейсов осуществляется в среднем 1 раз в час. Наименьший временной интервал отправок между двумя пунктами составляет 15 минут.

Из-за необходимости перевозки большого количества людей пассажировместимость парома для этой линии должна составлять около 200 человек, к которым Агентство по транспорту Архангельской области добавляет перевозку двух грузовых автомобилей типа «Камаз» (проект Морского Инженерного Бюро RPF14).

Ежегодный объем перевозки пассажиров на линии «г. Архангельск – остров Кего» составляет также около 260 тыс. человек. На Кего-острове в настоящее время проживает более 2300 человек. В течение дня судно осуществляет 12 круговых рейсов. При этом первые 3 рейса с острова Кего и последние 3 рейса из Архангельска имеют загрузку около 100 %. В дневное время загрузка судна в обоих направлениях не превышает 30-40 %.

Из-за необходимости перевозки большого количества людей пассажировместимость судна для этой линии должна составлять около 250 человек (проект PV16).

В период льдообразования и ледохода (осенью от месяца до трех и весной три-четыре недели) обстановка становится просто катастрофической, так как перевозка пассажиров с 70-х годов прошлого столетия обеспечивается **буксирами** (пассажирских судов с требуемой ледовой категорией в наличии нет), имеющими достаточную для работы в ледовых условиях категорию, ледопробиваемость и прочность корпуса. Буксиры перевозят жителей до момента появления устойчивого прочного ледового покрова на реке.

Такие перевозки осуществляются с нарушением «Правил оказания услуг по перевозке пассажиров, багажа, грузов для личных (бытовых) нужд на внутреннем водном транспорте» и требований правил РРР, на борту буксира часто размещают до 100 пассажиров [4].

Как отмечается в [3], в «час пик» буксиры делают дополнительные рейсы по мере накопления пассажиров на причалах. Кроме перевозки горожан, буксиры выполняют функции дежурного судна, оставаясь в ночное время на островах для срочной доставки больных, решения задач МВД и МЧС, обеспечения срочной доставки продуктов и медикаментов для населения островов.

В период ледохода и ледостава перевозка горожан осуществляется бесплатно (например, в 2011 году буксирами было перевезено 170 тыс. человек, более 5 тысяч горожан в сутки) [3].

Проблемы есть даже тогда, когда ледоход прекратился. С одной стороны каждую зиму создаются пешеходные и транспортные ледовых переправы, но с другой стороны грузовые суда, заходящие в порт, разрушают ледовый покров на реке Северная Двина, создают ледовые каналы и торосы, мешают наведению пешеходных переправ через реку.

Наконец, в 2012 году Северная Двина не замерзала до декабря, а ледовые транспортные и пешеходные переправы были открыты только в третью декаду января 2012 года, при этом из-за ледообразования пришлось перевозить пассажиров 2,5 месяца буксирами.

Перевозка пассажиров осуществляется на морально и физически устаревших судах, в том числе слабо приспособленных или вообще не отвечающих требованиям к перевозке пассажиров, в частности, не имеющих подкреплений для работы в условиях замерзания реки Северная Двина.

Как видно из широкого общественного обсуждения и решений муниципальных властей, имеющийся в настоящее время флот пассажирских судов всех типов и назначений на островных территориях города Архангельска в дельте реки Северная Двина не обеспечивает потребностей населения, особенно в период льдообразования и ледохода. Связано это с отсутствием судов ледового класса.

Особенность именно Архангельска в том, что нет других речных судов, способных обеспечить транспортное сообщение с островными территориями в период ледостава, кроме буксиров ледокольного класса, поэтому создание пассажирского (на 250 пассажиров, проект PV16) и грузопассажирского (на 200 пассажиров и два грузовых автопоезда, проект RPF14) судов, способных работать в таких условиях (с ледовой категорией Лед 40 и с относительно большой осадкой, до 2,40 м), является крайне важной и актуальной задачей.

Речные переправы Архангельской области в верховьях Северной Двины. Всего в верховьях Северной Двины действует около 50 речных переправ. Суда, работающие на переправах, физически и морально устарели, что либо приводит к отсутствию коммуникаций вообще, либо к нарушениям, что в свою очередь небезопасно.

Переправа Березник – Осиново (Виноградовский район). Работает летом 7 раз в день с 07-15 по 19-00 (по Березникам) [5]. В сельском населенном пункте Осиново постоянно проживает 1 414 человек, в летний период население удваивается за счёт приезжих [6].

«На переправе Березник – Осиново работал паром «СП-17». Грузоподъемность судна составляет 60 тонн, вместимость – 77 человек. Паром был построен в 1979 году. За 30 лет эксплуатации судна его капитальный ремонт ни разу не производился. Предварительная сметная стоимость ремонта составляет 14,5 миллионов рублей. В 2012 году после очередного освидетельствования муниципального парома Российской речной регистр запретил эксплуатацию судна. В результате весной 2013 года отрезанными от «большой земли» оказались около полутора тысяч жителей поселка Осиново. Было прекращено пассажирское и продовольственное сообщение островных поселений с материком» [7].

Переправа Матера – Ухтоострово (Холмогорский район). Муниципальное образование «Ухтоостровское», где численность населения в летний период достигает двух тысяч человек, находится на севере Холмогорского района, на правом берегу реки Северная Двина и островах Холмогорского разветвления. Матера – хутор в этом же районе.

• На переправе последовательно использовались несколько маломерных судов с баржами, которые также последовательно получали запрещение к эксплуатации, что в свою очередь приводило к полному прекращению коммуникаций с Ухтоострово. Сейчас на этом маршруте работает пассажирский теплоход «Москва-36» ОАО «Архангельский речной порт» [8].

Переправа Двинской - Ныкола (Холмогорский район). Посёлок Двинской (2915 человек жителей) расположен на правом берегу реки Северная Двина в Архангельской области. Расстояние от Двинского до Котласа 170 км, до Архангельска 470 км. Посёлок является административным центром Двинского сельского поселения в Верхнетоемском районе. Он находится в 12 км южнее районного центра – села Верхняя Тойма. Деревня Ныкола расположена на левом берегу реки Северная Двина.

На переправе работают поочередно два судна типа Т-63 вместимостью по 12 человек мощностью 150 л.с. (в период ледостава одновременно) и баржа грузоподъемностью 60 тонн. Расписание: время отправления с правого берега ежедневно 6-00, 7-45 (кроме выходных), 9-00, 12-00, 16-00, 19-30; пятница – дополнительно 18-00, воскресенье – дополнительно 14-00. С левого берега – через 30 минут соответственно [9].

Проблема экономической неэффективности пассажирских перевозок может быть решена не только их дотированием, но и поиском путей снижения затрат и повышения доходности на проектном уровне, однако профессиональных публикаций о создании судов для Архангельска и области до сих пор не было.

Анализ показал, что для местных переправ Архангельской области рекомендуется использовать новый мелкосидящий грузопассажирский паром проекта Морского Инженерного Бюро RPF15 на 50 пассажиров и грузовой автопоезд (взамен существующих и близких по параметрам судов проектов 774, М-105, ДО-57).

Переправы Ленинградской области. Паромная переправа через реку Свирь в Вознесенье является частью региональной автодороги «Петрозаводск-Ошта». Ее работу обеспечивают три судна: самоходный паром «Свирь-1» 1984 года постройки и речной толкач «РТ-328» 1980 года постройки (в летний период) и самоходный паром «СП-28» 1969 года постройки (в зимний период). Содержание данной паромной переправы осуществляет ГП «Лодейнопольское ДРСУ».

Ввиду технического состояния в 2011 году РРР ввел ограничение на устаревшие суда «РТ-328» и «Свирь-1» по пассажироместности до 20 человек, что привело к возникновению больших очередей жителей и транспорта в ожидании перевозки. Для этой линии в 2015 году Невским ССЗ был построен новый паром «Аркадий Филатов».

Пассажирские перевозки в Республике Саха – Якутия. По мнению генерального директора ООО «Пассажирское райуправление» (одного из главных республиканских перевозчиков) С.В. Соколова, они характеризуются недостаточной численностью существующего флота и его физическим и моральным устареванием; значительной протяженностью маршрутов; наличием на рынке многочисленных перевозчиков, в основном, частных, что для таких услуг не характерно; рыночным формированием стоимости проезда, особенно на востребованных линиях с серьезным пассажиропотоком; недостатком причалов, что приводит к посадке/высадке в том числе и на необорудованный берег; перевозкой легковыми автомобилями и груза.

В навигации 2014 года ООО «Пассажирское райуправление» работало на 6 маршрутах, ООО «Ленатурфлот» – 5; Белгородский участок ОАО «ЛОРП» – 2; ИП Кондратьев – 2; по 1 маршруту обслуживали ООО «Судоходная компания «Виллой»; Алданский участок ФБУ «Администрация Ленского бассейна»; ИП Прокопьев, ИП Высоцкий. Всего 19 линий суммарной протяженностью 9200 км и 79 остановками.

Основные характеристики пассажирских линий Республики Саха – Якутия приведены в таблице 5. Самой протяженной является линия Якутск – Тикси (1664 км), а также Якутск – Жиганск (771 км), Усть-Кут – Пеледуй (765 км), Усть – Майя – Томмот (764 км) и Олекминск – Якутск (627 км). При этом наибольшее количество пассажиров в 2014 году проследовало по маршруту Олекминск – Якутск – 13300 человек, а на рекордной линии Якутск – Тикси – 2136 человек. Конечно самым востребованным (420 тыс. пассажиров за год) является самый короткий маршрут в 24 км между Якутском и Нижним Бестяхом – конечной железнодорожной станции Амуро-Якутской железной дороги.

Таблиця 5

Основные характеристики пассажирских линий республики Саха – Якутия

Номер	Наименование линии	Реки	Расстояние, км	Количество остановочных пунктов	Количество рейсов	Количество пассажиров	Субсидии	Тариф 2014	Используемый тип судна
Низкоскоростные маршруты									
1	Белая гора – Кэбэргэнэ	Индигирка	218	1	16	59	Да	1197	Катер КС 110
2	Олекминск – Чаппево	Лена	251	9	9	500	Да	1371	Судно пр. 252
3	Якутск – Иолт	Лена	328	6	16	614	Да	1871	Судно пр. Р51
4	Якутск – Чейэ-Тердо	Лена, Алдан	342	3	10	450	Да		Судно пр. Р51
5	Белая гора – Чоккурдах	Индигирка	420	1	1	10	Да	1806	Катер КС 110
6	Олекминск – Якутск	Лена	627	11	29	1700	Да	3092	Судно пр. 252
7	Якутск – Жиганск	Лена	771	4	20	3000	Нет		Судно пр. 780
8	Якутск – Тикси	Лена	1664	10	8	2136	Да		Судно пр. 646
Скоростные однодневные маршруты									
9	Нюрба – Малыйкай	Виллой	209	2	47	3176	Да	1740	Т/х Заря
10	Витим – Лейск	Лена	211	3	120	8500	Нет		СПК Восход
11	Якутск – Сангар	Лена	337	2	43	3004	Да	4500	СПК Ракета, Восход
Скоростные двухдневные маршруты									
12	Усть-Майя – Хандыга	Лена, Алдан	394	4	25	937	Да		СПК Полесье, Ракета
13	Олекминск – Ленск	Лена	408	9	51	3895	Да	2783	СПК Полесье
14	Якутск – Олекминск	Лена	627	7	95	11600	Нет	8400	СПК Метеор, Ракета
15	Усть-Майя – Томмот	Алдан	764	18	18	766	Да	5238	СПК Полесье
16	Якутск – Жиганск	Лена	771	4	21	2137	Нет	7500	СПК Восход
17	Усть-Кут – Пеледуй	Лена	765	4	-	-	-	-	СПК Полесье
Пригородные маршруты									
18	Якутск – Нижний Бестях	Лена	24	0		более 420000	нет	250, 300	Суда проектов Р51, 82820 раздельные каюта индивидуальных предпринимателей
19	Якутск – Соттинцы	Лена	56	0			Да	1000	Northsilver рго 745 cabin

Как отмечает С.В. Соколов, 85-95 % пассажиров перемещаются между начальной и конечной остановками линии, поэтому предлагается строить такие суда, которые смогут осуществлять посадку (высадку) на необорудованный берег. Например, на маршрутах ООО «Пассажи́рское райуправление» только в 5 (Якутск, Сангар, Жиганск, Батамай, Олекминск) из 23 населенных пунктов были дебаркадеры.

Основные проблемы. Анализ общих внешних факторов, причем не только по Архангельской области, влияющих на пассажирские и грузовые перевозки по рекам на местных линиях, показал, что основной проблемой данного вида перевозок является их дотационность и зависимость от местных бюджетов. Без соответствующего финансирования такие перевозки просто исчезнут. Необходимость таких перевозок заключается в том, что для многих линий нет альтернатив и добраться из пункта А в пункт Б можно только по реке (или в ряде случаев объезжая по суше значительно большее расстояние и затрачивая при этом значительно больше времени).

Следует отметить, что в целом по стране речной пассажирский транспорт местного сообщения в настоящее время не выдерживает конкуренции с другими видами транспорта, в частности, с автомобильным, из-за резкого роста у населения автомашин в личной собственности, а также появления многочисленных внутригородских и междугородних автобусных маршрутов вследствие передачи пассажирских автоперевозок в руки коммерческих компаний.

Между тем, потребность в речных местных перевозках сохраняется, а во многих местах и растет вследствие вполне естественных ограничений в развитии автодорожной инфраструктуры (что характерно для восточных и северных бассейнов страны), перегруженности дорог (например, Москва с областью) и дороговизны местного авиационного сообщения. В некоторых регионах страны имеется значительное количество территорий, где альтернативой водному транспорту является только дорогой и маловместительный вертолет.

Основной формой организации движения пассажирского флота является линейная. Обоснование схемы линий проводится на этапе подготовки плана эксплуатационной работы судоходной компании на предстоящую навигацию. Сущность задачи состоит в том, чтобы на основе размеров пассажиропотоков по отдельным направлениям и состава пассажирского флота установить конкретные линии работы для каждого типа судна с учетом полного удовлетворения потребностей в пассажирских перевозках с минимальными транспортными расходами.

Решающее значение в организации перевозок и, соответственно для типа модели функционирования пассажирского или грузопассажирского судна, имеет среднее значение приемлемого для пассажиров времени ожидания судна. Организация обслуживания в режиме случайного вызова (при «созревании» заявки по мере накопления пассажиров) при наличии мобильной связи может использоваться в местах спорадического

появления пассажиров, но для отечественных условий такое решение мало подходит (хотя в принципе, может быть использовано для мегаполисов в виде «речного такси», что несколько раз «запустить» по реке Нева в пределах Санкт-Петербурга).

Основными проблемами речных пассажирских перевозок являются:

- убыточность пассажирских перевозок (высокая себестоимость эксплуатации судов, использование судов, не в полной мере приспособленных к условиям эксплуатации, в ряде случаев – отсутствие широкого платежеспособного спроса на перевозки и т.д.);

- сезонность работы предприятий, эксплуатирующих флот пассажирских судов для местных линий;

- отсутствие освещаемой обстановки на ВВП бассейна в период темных ночей, вдвое снижающее использование флота;

- устаревший флот пассажирских судов для местных линий;

- техническая отсталость и непригодность судов к условиям эксплуатации (отсутствие нужных современных судов, их непригодность для внутренних линий, их недостаточная комфортность и непривлекательность для туризма, неполное соответствие береговой инфраструктуре и т.д.);

- специфичность условий эксплуатации (удаленность и необорудованность портопунктов, сезонность, несбалансированность грузо- и пассажиропотоков, и т.д.);

- разрушенные причальные стенки и (или) отсутствие дебаркадеров – невозможность швартовки пассажирским судам для местных линий;

- ограниченное финансирование из бюджета убытков по пассажирским перевозкам, препятствующее проведению полноценных ремонтов и развитию инфраструктуры, используемой для осуществления пассажирских перевозок на местных линиях;

- относительно высокая стоимость строительства и эксплуатации новых пассажирских судов, отсутствие средств на приобретение современного флота, значительная потребность в средствах для строительства и эксплуатации береговой инфраструктуры и т.п.

В целом ситуация характеризуется острой необходимостью в развитии местных и межрегиональных пассажирских перевозок, что в первую очередь связано с решением проблемы их экономической эффективности. Эксплуатация пассажирского флота осуществляется либо на направлениях, дотируемых местными бюджетами (социальные перевозки), либо в туристических целях (Санкт-Петербург, Москва, Селигер, Валдай, Ильмень и др.). Размеры требуемых дотаций тем больше, чем меньше приспособлены суда к условиям эксплуатации.

Для развития пассажирских перевозок необходим новый, современный, привлекательный флот, имеющий минимум потребности в дотациях. Потребность в пассажирских судах для пригородных и местных

линий можно (на начальной стадии) определить как число судов, необходимое для постепенного обновления действующего флота.

Существующий пассажирский флот. В настоящее время возрастную структуру флота внутреннего плавания нельзя признать удовлетворительной. Так, в соответствии с данными на октябрь 2016 года Российского Речного Регистра, возрастная структура пассажирских судов внутреннего плавания характеризуется следующими параметрами (см. таблицу 6).

Используя данные таблицы 6, исходя из предположения, что возраст судов в каждой группе нормально распределен около среднего значения, можно оценить средний возраст судов. На основании изложенного выше, средний возраст пассажирских судов всех типов по данным РРР можно оценить в 33 года.

Таблица 6

*Возраст пассажирских судов всех типов по данным РРР
(кроме маломерных судов, пригодных для перевозки пассажиров)*

Вид флота	Возрастные группы судов							Итого судов
	менее 10 лет	10-20 лет	21-30 лет	31-40 лет	41-50 лет	51-60 лет	Свыше 60 лет	
Распределение судов по возрастным группам								
Пассажирские, ед.	191	93	220	352	134	263	81	1334
Возрастная структура флота								
Пассажирские, %	14,32	6,97	16,49	26,39	10,04	19,72	6,07	100,00

Источник: Российский Речной Регистр

В целях данного исследования для анализа состояния пассажирского флота для местных и пригородных линий были выбраны суда длиной 25-50 м. Выбор таких размерений обусловлен тем, что суда длиной менее 25 м можно отнести к категории экскурсионно-прогулочных, а суда более 50 м, как правило, относятся к классу туристического флота.

В таблице 7 приведены данные о составе и структуре речного пассажирского флота для местных линий.

Таким образом, в Российском Речном Регистре зарегистрировано 972 пассажирских судна для местных и пригородных линий.

Как показывают данные, наибольшее количество судов относится к типу «Москва», «Москвич» и «ОМ». На них приходится около 70 % всего пассажирского флота для местных и пригородных линий. Эти суда создавались давно, морально и физически устарели.

Таблиця 7

Состав флота речных пассажирских судов для местных линий

Проект	Количество	Средний возраст
Речные пассажирские суда для местных линий:		
Р-51, Р51Э, Р-51ЭК, Р-51ЭА «Москва»	232	29,10
544, 544Ш, 544П «Москвич»	183	55,66
780, 780-03 «ОМ»	125	49,53
81080, 81080А «Московский»	34	22,84
839, 839А «МО»	85	49,05
331	12	49,50
Р-35 «Нева»	6	38,21
2646/Р-51ЭК	6	28,87
НВС-496 (Китай)	6	4,50
623	10	51,80
Р-83	95	30,13
М-105	7	53,01
КС-104-01	31	10,75
Т-101, Т-101П, Т-101ПМ	31	43,20
1430	7	36,42
Прочие проекты (Т-129, 075, 939)	4	23,44
Итого по пассажирским судам	874	36,00
Пассажирские паромы для местных линий:		
603	12	40,33
Р-144	6	24,65
М-105	3	52,69
ПР-70	8	17,66
СПБА-100	6	29,51
133Б	14	37,58
6258	5	23,50
183Б, 183БМ, 183В	3	35,38
774	7	40,38
81210, 81210Л	4	17,60
81212, 81212Р	4	14,92
Р-66	5	38,98

Продолжение табл. 7

Проект	Количество	Средний возраст
P-146AM, P-146M, P-146П	3	20,68
Прочие проекты (СМ-241, 65, 661, 780/331, 81080, 81219, 944, ЛН-401, Б/212, ДО-57, ПН-97-60, ПН-99,50, P-92A, P92A, 52)	18	28,94
Итого по пассажирским паромам	98	30,20
ИТОГО	972	33,10

Источник: Российский Речной Регистр

Б.М. Сахновский [10] отмечал, что в эксплуатации находится значительное количество водоизмещающих пассажирских судов и судов вспомогательного флота (служебно-разъездные, обстановочные и др), перевозящих пассажиры, эксплуатирующиеся на малых и боковых реках. Более новые суда (пр. 81080, P118, P132 и др.) успешно эксплуатируются. Но их было построено крайне мало. Более старые суда переоборудуются под новые требования РРР, новые назначения и с учетом современных архитектурно-компоновочных решений. Серийно строившиеся с 1965 г. по 1984 г. полуглиссирующие пассажирские теплоходы типа «Заря» пр. 946, 946А и P83, в настоящее время сняты с большинства линий эксплуатации на малых и боковых реках. Это было связано с возросшими требованиями по охране окружающей среды; имея высокую мощность и скорость, теплоходы типа «Заря» существенно влияли на экологический режим малых рек. Они были заменены скеговыми СВП типа «Зарница», «Орион», «Луч», глиссирующим судами с воздушной прослойкой на днище «Линда», судами на воздушной подушке амфибийного типа «Ир-бис», которые, как показали результаты специальных исследований, оказывают меньшее отрицательное влияние на экологический режим малых рек.

Необходим поиск новых технических решений для создания судов пассажирского флота с более экономичными характеристиками, причем, как показал Б.М. Сахновский, для пассажирских судов внутреннего плавания наиболее значимыми факторами влияния являются мелководье и стесненность габаритов судового хода.

Средний возраст речных пассажирских судов для местных линий составляет 36 лет. Средний возраст речных пассажирских паромов для местных линий составляет 30,2 года. Средний возраст всего речного пассажирского флота для местных линий составляет 33,1 года.

Нормативный срок эксплуатации судов составляет 25-35 лет при максимально возможном сроке эксплуатации 40 лет. Таким образом, уже сейчас должно быть списано более 50 % эксплуатируемого в настоящее время флота, что, безусловно, приведет к обвалу объемов пассажироперевозок на речном транспорте и для многих регионов страны обернется

транспортным коллапсом (регионы, где нет альтернативы речным перевозкам).

Как видно из вышеизложенного, предстоящее списание пассажирского флота нанесет существенный ущерб, на фоне практически полного отсутствия строительства нового флота.

На основании данных Российского Речного Регистра (см. таблицу 8) было выполнено распределение по классам РРР пассажирских судов всех типов. Преобладающее положение класса «Р» среди всех пассажирских судов (61 % всех пассажирских судов имеет именно этот класс) объясняется тем, что речные пассажирские суда для местных линий участвуют в перевозках пассажиров на незначительные расстояния, которые полностью удовлетворяет выбранный ими класс «Р».

Таблица 8

Распределение по классам РРР пассажирских судов всех типов, кроме скоростных (по состоянию на октябрь 2016 года, кроме маломерных судов, пригодных для перевозки пассажиров, и скоростных)

Классы РРР								Итого судов
М-СП	М-ПР	О-ПР	Р	М	О	Л	б/к	
Распределение судов по классам								
18	70	4	681	85	212	50	0	1120
Классовая структура флота								
1,61	6,25	0,36	60,80	7,59	18,93	4,46	0	100,00

Источник: Российский Речной Регистр

Например, под наблюдением Северного филиала РРР (г. Архангельск) находилось около 230 пассажирских, грузопассажирских и грузовых судов для местных линий. Основной порт приписки – Архангельск, средний возраст всех судов для местных линий – 37,2 года, только пассажирских и грузопассажирских – 37,3 года (всего 44 единицы). Последнее из пассажирских и грузопассажирских судов для местных линий Архангельской области было построено в 1999 году (т/х «Тойнокурье», владелец МУП «Флора-Дизайн»).

Нормативный срок эксплуатации архангельских судов составляет 25-35 лет при максимально возможном сроке эксплуатации 40 лет. Таким образом, уже сейчас могут быть списаны практически все из 44 единиц флота пассажирских и грузопассажирских судов для местных линий.

Это, безусловно, приведет к обвалу объемов пассажиро- и грузоперевозок на речном транспорте, что для Архангельской области обернется транспортным коллапсом.

В целом по всем регионам, судоходные компании идут по пути модернизации действующих судов, а именно замены судовых двигателей и обновления обстановки внутренних помещений. Это позволяет перево-

зять пасажиров в более комфортабельных условиях и сокращать расход топлива, не поднимая при этом существенно цены на билеты.

В XXI веке водный транспорт получил и более 200 новых пассажирских судов, паромов и разъездных судов. В это число входят построенные для линейных перевозок 20 пассажирских судов, 33 парома и 21 накатная баржа с аппарелями, которые также часто используются на переправах. Однако этого совершенно не достаточно для решения всех имеющихся задач.

Сводный анализ эксплуатируемых пассажирских и грузопассажирских судов для местных линий на социально значимых маршрутах и предложения по замене новыми проектами, на примере проектов Морского Инженерного Бюро, приведены в таблице 9.

Выводы. Средний возраст речных пассажирских судов для местных линий составляет 36 лет. Средний возраст речных пассажирских паромов для местных линий составляет 30,2 года. Средний возраст всего речного пассажирского флота для местных линий составляет 33,1 года.

Нормативный срок эксплуатации судов составляет 25-35 лет при максимально возможном сроке эксплуатации 40 лет. Таким образом, уже сейчас должно быть списано более 50 % эксплуатируемого в настоящее время флота, что, безусловно, приведет к обвалу объемов пассажироперевозок на речном транспорте и для многих регионов страны обернется транспортным коллапсом (регионы, где нет альтернативы речным перевозкам).

Как видно из вышеизложенного, предстоящее списание пассажирского флота нанесет существенный ущерб, на фоне практически полного отсутствия строительства нового флота.

Анализ пассажироперевозок по регионам, морально и физически устаревший флот пассажирских и грузопассажирских судов для местных линий, проблемы с отсутствием флота с необходимыми ледовыми усилениями для возможности эксплуатации в период льдообразования и ледохода показывают необходимость строительства речных пассажирских грузопассажирских судов нового поколения для местных линий, в том числе для большинства регионов, с усиленным ледовым классом.

В целом ситуация характеризуется острой необходимостью в развитии местных и межрегиональных пассажирских перевозок, что в первую очередь связано с решением проблемы их экономической эффективности. Эксплуатация пассажирского флота осуществляется либо на направлениях, дотируемых местными бюджетами (социальные перевозки), либо в туристических целях (Санкт-Петербург, Москва, Селигер, Валдай, Ильмень и др.). Размеры требуемых дотаций тем больше, чем меньше приспособлены суда к условиям эксплуатации.

Поэтому для сохранения и в перспективе развития линейных пассажирских перевозок необходим новый, современный, привлекательный пассажирский и паромный флот, имеющий минимум потребности в дотациях.

Таблиця 9

Анализ эксплуатируемых пассажирских и грузопассажирских судов для местных линий на социально значимых маршрутах и предложения по замене новыми проектами

Номер проекта в эксплуатации	Пассажиро-местность	Тип судна	Кол-во	Район эксплуатации	Номер нового проекта	Пассажиро-местность	Тип судна	Преимущества нового проекта
388, тип «Родина»	250	Пассажирское с каютами	2	Енисейский бассейн	PV11	150-200	Пассажирское с каютами с возможностью перевозки дополнительно багажа и груза	Комфортабельные каюты, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах. Наличие багажного отделения и возможности перевозить груз. Наличие грузового крана
646, тип «Байкал»	145-276	Пассажирское с каютами	3	Ленский, Обь-Иртышский бассейны	PV11	150-200	Пассажирское с каютами с возможностью перевозки дополнительно багажа и груза	Комфортабельные каюты, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах. Наличие багажного отделения и возможности перевозить груз. Наличие грузового крана
780, тип «ОМ»	100-243	Пассажирское с сидячими местами	1	Ленский бассейн	PV11	150-200	Пассажирское с каютами с возможностью перевозки дополнительно багажа и груза	Комфортабельные каюты, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах. Наличие багажного отделения и возможности перевозить груз. Наличие грузового крана
780, тип «ОМ»	100-243	Пассажирское с сидячими местами	2	Амурский бассейн	PV16	250	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах. Наличие грузового крана
P-51, P-51Э, P-51ЭА, тип «Москва»	150-325	Пассажирское с сидячими местами	6	Амурский бассейн	PV16	250	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах. Наличие грузового крана
P-51, P-51Э, P-51ЭА, тип «Москва»	150-325	Пассажирское с сидячими местами	10	Московский, Камский, Волжский бассейны	PV16M	100-150	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для прощеления павианши

Продолжение табл. 9

Номер проекта в эксплуатации	Пассажиро-местимость	Тип судна	Кол-во	Район эксплуатации	Номер нового проекта	Пассажиро-местимость	Тип судна	Преимущества нового проекта
342, 342У, 342Э, тип «Мегор»	116-124	Пассажирское с сидячими местами	4	Московский, Волжский бассейны	PV 16M	100-150	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для продления навигации
352, тип «Восход»	71	Пассажирское с сидячими местами	3	Волжский бассейн	PV 16M	100-150	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для продления навигации
780, тип «ОМ»	100-243	Пассажирское с сидячими местами	7	Волжский, Камский, Волжский бассейны	PV 16M	100-150	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для продления навигации
544, тип «Москвич»	80-133	Пассажирское с сидячими местами	5	Московский, Волжский бассейны	PV 16M	100-150	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для продления навигации
81080, тип «Московский»	150	Пассажирское с сидячими местами	2	Московский, Волжский бассейны	PV 16M	100-150	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для продления навигации
839, 839А, 873, 873А, тип «МО»	22-138	Пассажирское с сидячими местами	6	Волго-Балтийский, Московский, Камский, Волжский бассейны	PV 16M	100-150	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для продления навигации
792, 792А, тип «ТС»	20-100	Пассажирское с сидячими местами	5	Обский, Волжский бассейны	PV 16M	100-150	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для продления навигации
P-51, P-51Э, P-51ЭА, тип «Москва»	150-325	Пассажирское с сидячими местами	6	Обский, Обь-Иртышский бассейны	PV 14	100	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
P-83, P-83А, 946, 946А, тип «Заря»	54-86	Пассажирское с сидячими местами	10	Енисейский, Амурский, Обский, Обь-Иртышский, Ленокский бассейны	PV 14	100	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах

Продолжение табл. 9

Номер проекта в эксплуатации	Пассажиро-местимость	Тип судна	Кол-во	Район эксплуатации бассейна	Номер нового проекта	Пассажиро-местимость	Тип судна	Преимущества нового проекта
Р-83, Р-83А, 946, 946А, тип «Ларя»	54-86	Пассажирское с сидячими местами	1	Пензенский бассейн	PV14	100	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
340Э, тип «Акестл»	50	Пассажирское с сидячими местами	2	Ленский бассейн	PV14	100	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
342, 342У, 342Э, тип «Метеор»; 342М, 342МТ, 342МЭ, 342МС тип «Комета»	116-124	Пассажирское с сидячими местами	11	Амурский, Белооморско-Онежский, Байкало-Ангарский, Ленский, Обь-Иртышский бассейны	PV14	100	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
352, тип «Восход»	68-71	Пассажирское с сидячими местами	6	Ангарский, Обь-Ленский, Обь-Иртышский бассейны	PV14	100	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
17091, тип «Польсе»	48	Пассажирское с сидячими местами	1	Ленский бассейн	PV14	100	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
544, тип «Москвич»	80-133	Пассажирское с сидячими местами	4	Амурский, Обь-Иртышский бассейны	PV14	100	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
14202, тип «Лилда»	55	Пассажирское с сидячими местами	5	Обь-Иртышский бассейн	PV14	100	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
19591, тип «Баргузин»	120	Пассажирское с сидячими местами	1	Байкало-Ангарский бассейн	PV14	100	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
93031, тип «Невазй»	38	Пассажирское с сидячими местами	2	Пензенский бассейн	PV14	100	Пассажирское с сидячими местами	Комфортабельный салон, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах

Продолжение табл. 9

Номер проекта в эксплуатации	Пассажиро-местность	Тип судна	Тип судна	Кил-во	Район эксплуатации	Номер нового проекта	Пассажиро-местность	Тип судна	Преимущества нового проекта
1402Б, 338М	10-20	Рейдовый катер	Волю-Балтийский бассейн	2	Волю-Балтийский бассейн	КС-110	12	Службно-разъездной катер	В новом проекте нет необходимости. Серия запущена в производство
14701, тип «БКТ»	12	Букарный катер, переоборудованный для перевозок пассажиров	Байкало-Ангарский бассейн	1	Байкало-Ангарский бассейн	КС-110	12	Службно-разъездной катер	В новом проекте нет необходимости. Серия запущена в производство
14201, тип «Дилда»	25	Пассажирское с сидячими местами	Волжский бассейн	1	Волжский бассейн	КС-110	12	Службно-разъездной катер	В новом проекте нет необходимости. Серия запущена в производство
КС-100, КС-102	2-12	Службно-разъездной катер	Северо-Двинский, Волю-Балтийский, Московский, Обь-Иртышский бассейны	6	Северо-Двинский, Волю-Балтийский, Московский, Обь-Иртышский бассейны	КС-110	12	Службно-разъездной катер	В новом проекте нет необходимости. Серия запущена в производство
А-45, А-45-1, А45-2	100	Пассажирское с сидячими местами	Енисейский бассейн	4	Енисейский бассейн	В новом проекте нет необходимости, в эксплуатации новые суда			
А-145	130	Пассажирское с сидячими местами	Обь-Иртышский бассейн	2	Обь-Иртышский бассейн	В новом проекте нет необходимости, в эксплуатации новые суда			
АКС-2000, тип «Мирс-2000»	18	Пассажирское с сидячими местами	Обь-Иртышский бассейн	3	Обь-Иртышский бассейн	В новом проекте нет необходимости, в эксплуатации новые суда			
КС-162, тип «Ямицк»	44	Пассажирское с сидячими местами	Ленский бассейн	1	Ленский бассейн	В новом проекте нет необходимости, в эксплуатации новое судно			
105.05, тип «Фарман Салмагов»	74	Пассажирское с сидячими местами	Обь-Иртышский бассейн	1	Обь-Иртышский бассейн	В новом проекте нет необходимости, в эксплуатации новое судно			

Продолжение табл. 9

Номер проекта в эксплуатации	Пассажиро-местность	Тип судна	Кол-во	Район эксплуатации	Номер нового проекта	Пассажиро-местность	Тип судна	Преимущества нового проекта
КС-110	12-30	Служебно-разъездной катер	21	Обский, Об-Иртышский, Ленский, Волго-Балтийский, Печорский бассейны	В новом проекте нет необходимости, в эксплуатации новые суда			
82822	8	Пассажирский катер	1	Иртышский бассейн	В новом проекте нет необходимости, в эксплуатации новое судно			
82841	55	Пассажирское с сидячими местами	1	Волго-Балтийский бассейн	В новом проекте нет необходимости, в эксплуатации новое судно			
700 PRO	9	Пассажирский катер	3	Ленский бассейн	В новом проекте нет необходимости, в эксплуатации новые суда			
Т-63, тип «Костромич» + баржа-площадка	0-6	Бухтарный катер+ баржа-площадка	7	Северо-Двинский, Обский бассейны	RPFI5	до 50 чел, дедейт 75,8 т	Самоходное грузопассажирское судно	Наличие салона, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
1606, тип «Костромич», 1741А, 861А, Р-56Б + баржа-площадка	0-30	Бухтарный катер+ баржа-площадка	7	Байкало-Ангарский, Обский, бассейны	RPFI5	до 50 чел, дедейт 75,8 т	Самоходное грузопассажирское судно	Наличие салона, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
РВН-376, РВМ-376, РМ-376, РН-376, тип «Ярославел» + баржа-площадка	0-30	Бухтарный катер+ баржа-площадка	7	Байкало-Ангарский, Камский бассейны	RPFI5	до 50 чел, дедейт 75,8 т	Самоходное грузопассажирское судно	Наличие салона, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах, а также в европейской части во время ледостава и ледохода
603, 603А, тип «СП»	до 350, грузоподъемность 73 т	Самоходный паром-теплоход	1	Волжский бассейн	RPFI5	до 50 чел, дедейт 46,7 т	Самоходное грузопассажирское судно	Наличие салона, современные экономичные машины и механизмы, Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах, а также в европейской части во время ледостава и ледохода

Продолжение табл. 9

Номер проекта в эксплуатации	Пассажиро-вместимость	Тип судна	Кол-во	Район эксплуатации	Номер нового проекта	Пассажиро-вместимость	Тип судна	Преимущества нового проекта
774, тип «СП»	до 77, грузоподъемность 60 т	Самоходный паром-теплоход	2	Байкало-Ангарский, Обский бассейны	RPF15	до 50 чел, дедейт 75,8 т	Самоходное грузопассажирское судно	Наличие салона, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
024, тип «Север»	20	Самоходная бarge-площадка	1	Байкало-Ангарский бассейн	RPF15	до 50 чел, дедейт 75,8 т	Самоходное грузопассажирское судно	Наличие салона, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
911В, тип «РТ-300» / 1587, 570В, Р-335 + бarge-площадка	0-90	Букарное судно+бarge-площадка	6	Байкало-Ангарский, Обский бассейны	RPF14	до 200 чел, дедейт 349 т	Самоходное грузопассажирское судно	Наличие салона, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
603, 603А, тип «СП»	до 350, Грузоподъемность 73 т	Самоходный паром-теплоход	3	Байкало-Ангарский бассейн	RPF14	до 200 чел, дедейт 349 т	Самоходное грузопассажирское судно	Наличие салона, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
70240, тип «Дорожник»	50	Самоходный паром-теплоход	1	Байкало-Ангарский бассейн	RPF14	до 200 чел, дедейт 349 т	Самоходное грузопассажирское судно	Наличие салона, современные экономичные машины и механизмы. Ледовый класс, что важно для работы в восточных бассейнах
РР1000, тип «Дачник»	до 90	Канатный пассажирский паром	1	Волжский бассейн	В новом проекте нет необходимости, в эксплуатации новое судно			
РЕГК.361221.102	до 40, грузоподъемность 40 т	Самоходное грузопассажирское судно	2	Печорский бассейн	В новом проекте нет необходимости, в эксплуатации новые суда			

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Обзор перевозок грузов и пассажиров внутренним водным транспортом России за 2009-2010 г. ЗАО «Морцентр-ТЭК»*
2. *Официальный интернет-портал «Архангельск». URL: <http://www.arhcity.ru> (дата обращения 30.10.2013).*
3. *Информационный портал «News29». Статья «В Архангельске изменили расписание буксиров на пассажирских переправах» от 29.11.12. URL: <http://www.news29.ru>*
4. *Официальный интернет-портал губернатора Архангельской области. URL: <http://www.orlov29.ru/> (дата обращения 30.10.2013).*
5. *Информационный портал «Двиноважье. История и культура Виноградовского района». URL: <http://dvinovaje.ru>*
6. *Информационное агентство «ДвинаИнформ». Статья «Жители Осиновского сельского поселения находятся в критической ситуации» от 16.05.13. URL: <http://www.dvinainform.ru>*
7. *Информационное агентство «ДвинаИнформ». Статья «Переправе Осиново – Березник: Слово за областными депутатами» от 28.05.13. URL: <http://www.dvinainform.ru>*
8. *Информационное агентство «ДвинаИнформ». Статья «В Поморье уладят проблемы с переправами» от 05.07.13. URL: <http://www.dvinainform.ru>*
9. *Информационный портал «NP». Статья «Теплоход «Мечта» вместо рейсов на Ухтоострово перевозит грузы для подготовки к юбилею Ломоносова» от 08.06.11. URL: <http://news.nordportal.ru/>.*
10. *Сахновский Б.М. Разработка методологии обоснования проектных характеристик судов смешанного и внутреннего плавания с учетом доминирующих эксплуатационных факторов: диссертация... доктора технических наук: 05.08.03 / Сахновский Борис Михайлович; [Место защиты: СПб. гос. мор. техн. ун-т]. – СПб. – 2006. – 319 с.: ил. РГБ ОД, 71 09-5/37.*

Стаття надійшла до редакції 21.11.2016

Рецензенти:

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

доктор технічних наук, професор, головний науковий співпрацівник Морського Інженерного Бюро, науковий консультант
В.В. Козляков

УДК 629.5

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

**НОВЫЕ СУДА И ПАРОМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ ПО ВОДНЫМ КОММУНИКАЦИЯМ**

Сформулированы основные принципы проектирования пассажирских судов и паромов для местных линий. Предложена линейка судов и паромов для обеспечения линейных перевозок пассажиров по водным коммуникациям.

Ключевые слова: пассажирское судно, паром, проектирование, основные характеристики, путевые условия, вариантность, социальная задача.

Наведено основні принципи проектування пасажирських суден і поромів для місцевих ліній. Запропоновано лінійку суден і поромів для забезпечення лінійних перевезень пасажирів водними комунікаціями.

Ключові слова: пасажирське судно, пором, проектування, основні характеристики, путівні умови, варіантність, соціальна задача.

The basic principles of design of passenger vessels and ferries for local lines are given. Line-up of vessels and ferries for passenger liner services providing on water communications is offered.

Keywords: passenger vessel, ferry, design, main characteristics, way conditions, variability, social task.

Постановка проблемы. Теоретически главную задачу речного транспорта в области пассажирских перевозок можно видеть в полном освоении пассажирских потоков, тяготеющих к внутренним водным путям. По сути, нас интересует два типа пассажирских перевозок – круизные (туристические), или другими словами, коммерческие, обеспечивающие отдых на воде, и линейные пассажирские, необходимые для перемещения людей (коммуникационные задачи).

Наибольшее социальное значение для населения страны имеют речные переправы (связывающие противоположные берега), пригородные линии (до 100 км) и местные (протяженностью до 500 км), в том числе, межрегиональные. Во многих регионах и населенных пунктах пассажирские суда являются безальтернативным видом транспорта.

Таким образом, проблема создания новых пассажирских и грузо-пассажирских судов для обеспечения коммуникационных задач, призванных заменить списанные и готовящиеся к списанию пассажирские суда, представляется актуальной и важной для отечественной водно-транспортной отрасли.

Целью статьи является обоснование проектной «сетки» новых речных пассажирских и грузопассажирских судов на основании проведенных Морским Инженерным Бюро исследований состояния пассажирских перевозок, существующего флота пассажирских и грузопассажирских судов, эксплуатирующихся на местных и межрегиональных линиях; эксплуатационных условий в предполагаемых районах работы новых судов.

Изложение основного материала. По результатам анализа опыта эксплуатации, проектирования и строительства отечественных и зарубежных речных судов для местных линий выделены следующие решения, которые применимы для перспективных речных пассажирских судов для местных линий [1-7].

1. По главным размерениям судов:

- определяющим является наличие ограничений путевых условий района эксплуатации судна (глубины, габариты судового хода, размеры гидротехнических сооружений и т.п.);

- при полном или частичном отсутствии ограничений определяющим является соотношение главных размерений, полученное по результатам оптимизации ходовых качеств судна и весовых/пространственных характеристик судна.

2. По архитектурно-конструктивному типу судов в зависимости от климатических условий района эксплуатации судна наибольшее распространение имеют два основных типа экстерьера судов:

а) «южный» с максимальным остеклением пассажирских салонов, с возможностью раскрытия (опускаемые или подъемные окна, раздвижные крыши), ходовые мостики с открытыми крыльями.

б) «северный» с закрытым по всей ширине судна ходовым мостиком с минимизацией остекления (для уменьшения тепловых потерь) пассажирского салона.

В отдельных случаях применим промежуточный вариант, представляющий собой в той или иной степени сочетание упомянутых выше вариантов.

3. Концепция выбора класса РРР для перспективных речных пассажирских судов для местных линий предполагает следующее:

- в соответствии с предполагаемыми направлениями перевозок для пассажирских судов и грузопассажирских паромов назначать класс РРР «О».

- в обоснованных случаях, где это требуют ветро-волновые условия района эксплуатации, возможно принятие класса «М».

- для мелкосидящих пассажирских судов и паромов с целью снижения металлоемкости корпуса при удовлетворительных ветро-волновых условиях района плавания принимается класс «Р» по классификации РРР;

- базируясь на накопленном опыте в общем случае для пассажирских судов целесообразно принятие категории ледовых усилений «лед 10» по классификации РРР;

- для «северных» вариантов пассажирских судов, эксплуатирующихся в Сибири, Северном и Дальневосточном регионах, целесообразно принятие категории ледовых усилений «лед 30» и «лед 40» по классификации PPP;

- для «южных» версий пассажирских судов (не предусматривающих эксплуатации в зимних условиях) и особенно мелкосидящих судов с целью снижения металлоемкости корпуса целесообразно вообще не иметь ледовых усилений;

- в обоснованных случаях, для «южных» вариантов пассажирских судов, если предусматривается продление эксплуатации в ледовых условиях, возможно принятие категории ледовых усилений вплоть до «лед 40» по классификации PPP.

Например, в правилах порта Архангельск указано, что с наступлением ледостава к работе в пределах Архангельска допускаются суда, имеющие ледовую категорию РС Ice 1 (или их эквивалент в классе PPP «Лед 40»), которая позволяет работать судам в мелкобитом льду толщиной до 40 см. При образовании льда толщиной более 40 см разрешено организовывать пешеходные и транспортные ледовые переправы, соответственно необходимость в применении судов отпадает.

Островные территории города Архангельска в дельте реки Северная Двина, а также сама Северная Двина выше города Архангельск, относятся к разряду «Р», поэтому суда должны иметь класс PPP ❏ P1,2 (высота волны 1,2 м 1 % обеспеченности).

Таким образом, для судов, предназначенных для работе в районе Архангельске, требуется класс PPP ❏ P1,2 (Лед 40). Для судов, которые будут работать на местных областных линиях исключительно в безледовой обстановки можно рекомендовать ❏ P1,2. Если же все равно придется эксплуатировать судно в условиях ледохода, то остается в силе первая рекомендация.

4. Основные предлагаемые принципы проектирования конструкции корпуса:

- за счет роста эффективной высоты сечения (включение палуб надстройки в общую продольную прочность) обеспечение достаточной для выбранного класса общей продольной прочности без увеличения толщин подавляющего большинства конструкций в сравнении с минимальными толщинами по Правилам PPP;

- сохранение толщин настилов и обшивок на уровне минимальных с целью минимизации массы металлического корпуса, решение задач обеспечения местной прочности и устойчивости за счет рационального сочетания элементов основного и рамного набора;

- назначение одинаковых, по возможности, толщин обшивки, стенок рамного и холостого набора для обеспечения равной долговечности по износу;

- проектирование конструкции борта, днища на восприятие эксплуатационных нагрузок, большинство которых считаются до сих пор «не проектными» (контакты с гидросооружениями, грунтом и т.п.);

- с целью увеличения фактической усталостной долговечности проектирование «гладких» конструкций поясков эквивалентного бруса с минимальным количеством технологических вырезов, приварышей и т. п., использование рационально исполненных узлов пересечения связей и плавного изменения площадей продольных связей корпуса по длине.

5. Среди технических рекомендаций с позиции безопасности судоходства и экологической безопасности при проектировании пассажирских судов можно выделить следующие рекомендации:

- не допускать размещения открываемых отверстий (иллюминаторов) в пределах непроницаемого основного корпуса;

- не допускать несимметричного по ширине распределения запасов, которое могло бы привести к возникновению крена при эксплуатации;

- не допускать размещения нефтесодержащих жидкостей (топлива, масла, подсланевых вод) в цистернах, контактирующих с забортной водой;

- оснащать пассажирские суда средствами записи действий вахты («черными» ящиками) и средствами аварийной внешней сигнализации (АРБ);

- перейти к применению электронных карт и средствам автоматизированного определения координат.

6. Как правило, рассматриваемые речные пассажирские и грузо-пассажирские суда для местных линий по продолжительности рейса и назначению по классификации Санитарных норм для судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания относятся к III группе. Это суда внутреннего плавания внутригородских, пригородных линий, что собственно, определяет их архитектурно-конструктивный тип, наличие специальных помещений, требования к площадям помещений, освещенности, системам водоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха и т.п.

Типовой состав экипажа суда местных линий: капитан-механик; матрос; кассир (как правило, женщина). Например, в условиях Архангельска суда могут оставаться на островах на ночь. Поэтому должны быть предусмотрены помещения для отдыха экипажа, с выделением места отдыха для кассира и места для разогрева пищи.

7. Суда для местных линий могут иметь в большей или меньшей степени (в зависимости от условий эксплуатации) упрощенную форму корпуса. От экстремально упрощенной «пontonной» формы у относительно тихоходных грузопассажирских паромов, работающих на коротких линиях мелководных переправ с одного берега на другой со скоростями хода до 10-12 км/ч, до умеренно упрощенной (сломы по скуле и отсутствие двухплоскостной кривизны днища кормовой оконечности) у паромов со скоростями хода до 15-24 км/ч.

Для посадки и высадки пассажиров с носа на пассажирских судах пригородных и внутригородских линиях часто используют носовые обводы выше ватерлинии с развалом для обеспечения достаточной площади палубы бака.

Грузопассажирские паромы «челночного» типа в надводной части имеют симметричные формы носовой и кормовой оконечностей для обеспечения единообразия условий погрузки/выгрузки как с носа так и с кормы.

Форштевень пассажирских судов выполняется наклонным в надводной части и с подъемом днища в подводной для обеспечения возможности причаливания носом к берегу в необорудованных местах для посадки и высадки пассажиров с носа.

По этой же причине бульбообразная носовая оконечность не применяются из-за большой вероятности аварийных повреждений при касании грунта носовой оконечностью и частых швартовках в стесненных условиях.

Грузопассажирские паромы в надводной части имеют носовой транец для обеспечения установки аппарели и причаливанию носом к местам погрузки/выгрузки.

Кормовая оконечность пассажирских судов выполняется, как правило, транцевой для уменьшения габаритной длины судна.

На грузопассажирских паромах транец в надводной части кормы служит для обеспечения установки аппарели и причаливанию кормой к местам погрузки/выгрузки.

Кормовые обводы в подводной части (в особенности для судов с экстремально ограниченной осадкой) имеют характерные туннельные образования для обеспечения условий работы гребных винтов.

Машинное отделение, помещения экипажа на всех судах размещаются в кормовой части для обеспечения удобства сообщения экипажа с МО и рулевой рубкой, оптимальной компоновки пассажирской зоны.

Для «северных» вариантов судов с учетом климатических условий предусматриваются закрытые ходовые мостики от борта до борта.

На пассажирских судах, как правило, применяется:

- салон для пассажиров в один ярус в средней и носовой части, обеспечивающий посадку и высадку с носа и обоих бортов (в кормовой части пассажирской зоны);

- рулевая рубка в корме от пассажирской зоны (для удобства контроля за пассажирской зоной, посадки/высадки пассажиров) и в непосредственной близости от МО;

- надстройка и крылья мостика, не выступающие за габариты основного корпуса при крене в 5-9 градусов.

На грузопассажирских паромах «челночного» типа (с носовой и кормовой аппарелями):

- салон/салоны для пассажиров размещается по возможности в один ярус в бортовых надстройках средней части судна с одного или обоих бортов;

- центральная часть главной палубы предусматривается для размещения автомобилей и другой колесной техники с возможностью сквозного проезда с носа в корму и наоборот (погрузка/выгрузка с помощью носовой и кормовой аппарелей);

- рулевая рубка размещается в средней части судна на мостике над грузовой зоной с возможностью кругового обзора (для удобства контроля за пассажирской и грузовой зонами), обеспечивая одинаковые условия обзора как при подходе к причалу/швартовке как носом так и кормой.

Пассажирское судно, как правило, гладкопалубное с возвышенными баком и ютом. При этом крыша закрытого пассажирского салона имеет уклон к носу. Для «южных» версий обычно предусматриваются сдвижные остекленные участки крыши или телескопическая полностью сдвигаемая в корму крыша с верхними частями бортовых стенок.

Грузопассажирские паромы, как правило, также гладкопалубные с относительно небольшими седловатостями грузовой палубы в носу и корме (у аппарелей).

Крыши полностью закрытых рулевых рубок от борта до борта имеют седловатость для обеспечения слива дождевой воды.

На таких судах судовая энергетическая установка дизельная. Причем, как правило, применяются два главных двигателя с двухвальной установкой с гребными винтами и рулями/направляющими насадками, обеспечивающие соответствующие пропульсивные качества и достаточную маневренность для данных судов с большим соотношением ширины к осадке.

Для мелкосидящих судов (с экстремально ограниченной осадкой) целесообразно применение современных гребных колес (прекрасным примером являются пассажирские суда типа «Сура») или водометных движителей.

Общие особенности речных пассажирских судов местных линий. Анализ опыта эксплуатации речных пассажирских и грузопассажирских судов позволил выстроить параметрический ряд объективно востребованных отечественными потребителями судов и на его основе разработать в МИБ проекты новых судов внутреннего и смешанного река-море плавания.

Версия такой линейки новых проектов дана в таблице 1. Боковые виды – в таблице 2.

Среди прочих в состав данной сетки проектов входят востребованные на современном рынке пассажирских и транспортных услуг следующие пассажирские и грузопассажирские суда:

Таблиця 1

Основные типоразмеры водоизмещающих пассажирских и грузопассажирских судов с возможностью работы на местных, региональных и межрегиональных линиях, спроектированных Морским Инженерным Бюро

Опикительная особенность класса судна, номер проекта Морского Инженерного Бюро	Вид сбоку, номер рисунка (см. табл. 2)	Габаритные длина x ширина x высота борта, м	Пассажиро-местность, чел.	Автономность плавания, сут.	Скорость, км/ч	Класс Регистра	Примечание
Пассажирские дальних линий и для межрегиональных перевозок							
PV11	1	89,09x15,0x4,0	150 (74 каюты)	10	20,0	✕ O 2,0 (лед 20) A	Возможность работы на межрегиональных линиях в качестве круизного судна с возмозж-ностью перевозки грузов (Объем грузового трюма 540 м ³). Проектировался для дальних линий Севера, Сибири и Дальнего Востока
PV16M	2	39,60x10,20x4,20	100	5	20,0	✕ O 2,0 (лед 20) A	Возможность перевозки грузов (объем грузового трюма 102 м ³). Проектировался для межрегиональных перевозок в европейской части ВВП
Пассажирские местных линий							
PV16	3	39,60x10,40x4,20	250	5	20,0	✕ P 1,2 (лед 40) A (район плаванья может быть увеличен)	Высокий ледовый класс (лед 40) для работы в восточных бассейнах в условиях льда до 40 см толщиной. С возможностью перевозки грузов (объем грузового трюма 100 м ³)
RPV03	4	31,90x6,40x2,50	150	2	20,4	✕ O 2,0 (лед 20) A	
PV14	5	26,50x6,62x2,50	100	2	20,0	✕ O 2,0 (лед 30) A	Высокий ледовый класс для работы в условиях льда до 30 см толщиной (продление навигации). Существует прогнунная модификация
RPV02	6	26,50x6,40x2,50	100	2	21,1	✕ O 2,0 (лед 20) A	Закрытая надстройка для работы в восточных бассейнах
RPV01	7	26,30x5,20 x1,70	50	2	22,4	✕ O 2,0 (лед 20) A	

Продолжение табл. 1

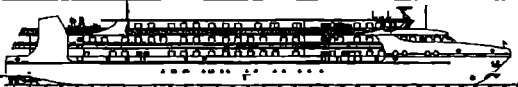
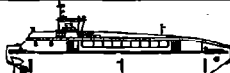



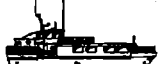






Отличительная особенность класса судна, номер проекта Морского Инженерного Бюро	Вид обочку, номер рисунка (см. табл. 2)	Габаритные длина x ширина x высота борта, м	Пассажиропместимость, чел.	Автономность в плавание, сут.	Скорость, км/ч	Класс Регистра	Примечание
RPF15	16	37,68x8,614xx1,40	до 50	2	14,8	✕ P 1,2 (лед 40) А (район плавания может быть увеличен)	Высокий ледовый класс для работы в условиях льда до 40 см толщиной (продление навигации), deadweight 75,8 т, возможность перевозки накатной техники, наличие пассажирского салона
RPF04	17	35,97x10,80xx1,50	до 50	2	16,0	✕ O 2,0 (лед 20) А	Deadweight 46,7 т, возможность перевозки накатной техники, наличие пассажирского салона
Грузопассажирские паромы с возможностью работы на морских прибрежных линиях							
CNF12M	18	69,61x14,00xx4,00	до 300	15	20,7	KM Ⓢ Ice 2 R2 Ro-ro Passenger Ship	Возможность работы на реке и в прибрежной зоне, deadweight 930 т, возможность перевозки накатной техники, наличие пассажирского салона
CNF12	19	67,75x12,00xx3,60	до 260	10	22,2	✕ M-СП 3,5 (лед 40)	Возможность работы на реке и в прибрежной зоне, deadweight 331 т, возможность перевозки накатной техники, наличие пассажирского салона
DCV47	20	42,60x8,82x2,70	12	15	16,7	KM Ⓢ Ice 2 R1 AUT3 OMBO	Возможность работы на реке и в прибрежной зоне, deadweight 260 т, возможность перевозки накатной техники, Работа на «осушке»
DCV50	21	21,75x5,90x1,70	12	1	17,6	KM Ⓢ R3 AUT3	Возможность работы на реке и в прибрежной зоне, deadweight 43 т, возможность перевозки накатной техники Работа на «осушке»

Продолжение табл. 1



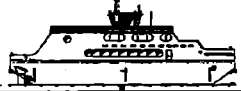


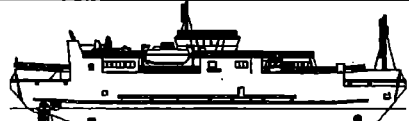



Отличительная особенность класса судна, номер проекта Морского Инженерного Вспоро	Вид сбоку, номер рисунка (см. табл. 2)	Габаритные длина x ширина x высота борта, м	Пассажиро-местность, чел.	Автономность плавания, сут.	Скорость, км/ч	Класс Регистра	Примечание
Протулочные, банкеттоходы и раздельные							
PV07	8	45,84x8,94x x4,45	12 (7 кают)	2	31,5	✕ М-СП 3,5	Возможность работы на реке и в прибрежной зоне
PV01M	9	45,03x14,05xx2,82	300	14 часов	20,4	✕ М-СП 3,5	Возможность работы на реке и в прибрежной зоне в качестве пассажирского судна
PV02	10	44,20x7,02x x2,50	10	5	22,2	✕ М-Пр 2,5А	Возможность работы на реке и в прибрежной зоне
PV05	11	44,16x7,015xx3,74	6/48 (при рейсах до 8 часов)	10	20,9	✕ О 2,0 А	Возможность работы на реке в качестве пассажирского судна
PV20	12	42,70x8,60x x3,40	150	3	18,5	КМ R3 А UT3- С Passenger Ship	Возможность работы на реке и в прибрежной зоне в качестве банкеттохода / плавающего ресторана
PV10	13	39,85x8,60x x3,30	150	5	19,25	✕ Л 0,6	Возможность работы на реке в качестве банкеттохода / плавающего ресторана
Речные грузопассажирские паромы							
RPF05	14	48,40x14,40xx3,40	до 100	2	17,2	✕ О 2,0 (лед 20) А	Делает 553,2 т, возможность перевозки накатной техники, наличие пассажирского салона
RPF14	15	39,60x10,40xx4,20	до 200	5	20,0	✕ Р 1,2 (лед 40) А	Высокий ледовый класс для работы в условиях льда до 40 см толщиной (продление навигации), делает 349 т, возможность перевозки накатной техники, наличие пассажирского салона

Таблица 2

Боковые виды водоизмещающих пассажирских и грузопассажирских судов с возможностью работы на местных, региональных и межрегиональных линиях, спроектированных Морским Инженерным Бюро

Номер п/п	Номер проекта Морского Инженерного Бюро	Вид сбоку
Пассажирские дальних линий и для межрегиональных перевозок		
1	PV11	
2	PV16M	
Пассажирские местных линий		
3	PV16	
4	RPV03	
5	PV14	
6	RPV02	
7	RPV01	
Прогулочные, банкетходы и разездные		
8	PV07	
9	PV01M	
10	PV02	
11	PV05	
12	PV20	

Продолжение табл. 2

Номер п/п	Номер проекта Морского Инженерного Бюро	Вид сбоку
13	PV10	
Речные грузопассажирские паромы		
14	RPF05	
15	RPF14	
16	RPF15	
17	RPF04	
Грузопассажирские паромы с возможностью работы на морских прибрежных линиях		
18	CNF12M	
19	CNF12	
20	DCV47	
21	DCV50	

1. Пассажирское судно для межрегиональных перевозок в восточных бассейнах проекта PV11 пассажироместимостью 150 человек. Предполагает эксплуатацию на дальних линиях в Ленском, Обь-Иртышском и Енисейском бассейнах.

АКТ судна: стальной трехвинтовой теплоход с наклонным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью, с избыточным надводным бортом, с надстройкой бака, со средним расположением трехъярусной надстройки с носовым расположением рулевой рубки, с машинным отделением в кормовой части.

За основные линии для пассажирского судна для межрегиональных перевозок в Сибири проекта PV11 приняты линии Красноярск – Дудинка 1984 км, Салехард – Антипаюта 718 км, Омск – Тобольск – Салехард 2714 км.

Пассажирское судно проекта PV11 имеет следующие основные характеристики: класс РРР – \boxtimes О 2,0 (лед 20) А; длина наибольшая – 89,09 м; длина между перпендикулярами – 85,41 м; ширина габаритная – 15,00 м; ширина расчетная – 13,50 м; высота борта – 4,00 м; осадка по КВЛ – 1,60 м; водоизмещение при осадке по КВЛ – 1358 т; максимальная мощность ГД – 3х331 кВт; скорость (при 85% МДМ) – 10,8 уз.; багажное отделение – 540 м³. Экипаж и обслуживающий персонал – 45 чел.

Схема общего расположения приведена на рисунке 1.

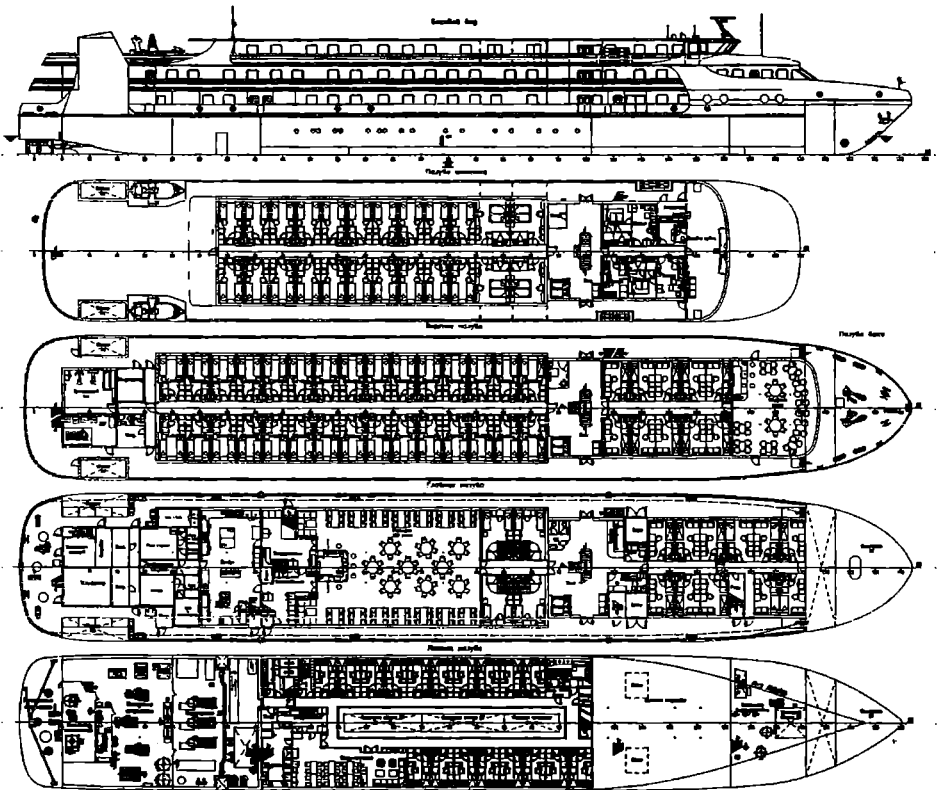


Рис. 1. Схема общего расположения пассажирского судна на 150 человек для межрегиональных перевозок в Сибири проекта PV11

Протяженность межрегиональных линий в восточной части весьма значительна (судно может находиться в рейсе 5 суток), поэтому для размещения 150 пассажиров предусматриваются отдельные каюты (как на круизном пассажирском судне).

Для размещения пассажиров предназначаются 74 каюты с двухместным размещением (включая 2 каюты с дополнительными местами), в том числе 4 люкс каюты с балконом; 4 каюты для людей с ограниченными возможностями; 64 стандартные каюты; 2 стандартные каюты с дополнительными местами. Каюты пассажиров размещаются в средней вертикальной зоне на 3-х ярусах надстройки.

Для обеспечения отдыха пассажиров на судне имеется ресторан, обзорный салон и тренажерный зал. Для перемещения пассажиров между палубами – пассажирский лифт. Для погрузки/выгрузки грузов с берега кран грузоподъемностью 6 т, в багажное отделение – два грузовых подъемника, грузоподъемностью 500 кг.

2. Пассажирское судно для местных линий в «южном» варианте проекта PV16M. Предполагает эксплуатацию на местных линиях в европейской части.

Архитектурно-конструктивный тип: стальной двухвинтовой теплоход с транцевой носовой и транцевой кормовой оконечностями, с избыточным надводным бортом, со средней надстройкой, выполненной из сплава АМг5, с кормовым расположением машинного отделения и рулевой рубки, с классом PPP \otimes O 2,0 (лед 20) А.

Основные характеристики пассажирского судна для местных линий пассажироместимостью 100 человек проекта PV16M: длина габаритная – 39,60 м; длина по КВЛ – 38,22 м; ширина габаритная – 10,20 м; ширина – 10,00 м; высота борта – 4,20 м; осадка по КВЛ – 2,40 м; дедвейт при осадке по КВЛ (в реке) – 364 тонн; объем грузового трюма – 102 м³; мощность ГД – 2 x 479 кВт; винто-рулевое устройство – 2 x ВФШ + 2 подвесных балансирных руля; вспомогательные ДГ и аварийный ДГ – 2 x 86 кВт и 1 x 28 кВт. Скорость (при 85% МДМ) – 20 км/ч. Экипаж – 5 человек.

Схема общего расположения пассажирского судна проекта PV16M приведена на рисунке 2. Для размещения экипажа численностью 5 человек предназначаются две двухместные и одна одноместная каюта (капитан), а также дежурное помещение, в котором располагается оборудование для хранения и подогрева пищи.

Пассажиры в количестве 100 человек размещаются на сидячих местах в пассажирском салоне и в двух двухместных каютах. На переборке пассажирского салона перед первыми рядами установлены откидные детские люльки.

Погрузка-выгрузка грузов на судно осуществляется грузовым краном, установленным в носу с максимальным вылетом стрелы около 10 м грузоподъемностью около 300 кг (при вылете стрелы около 7 м грузоподъемность около 700 кг). Носовой грузовой трюм закрыт створчатыми закрытиями, открытие-закрытие которых осуществляется с помощью ручной лебедки.

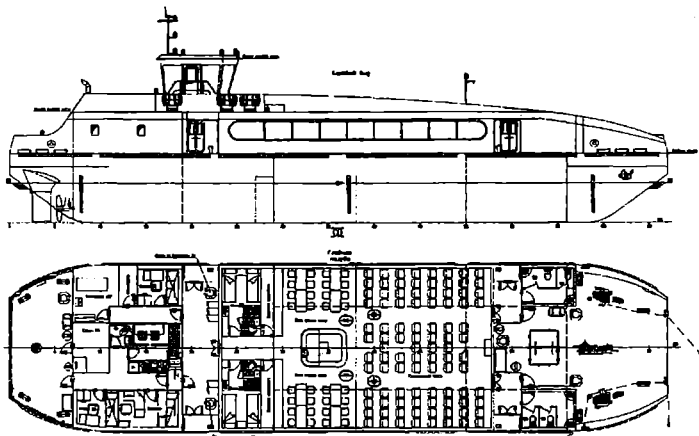


Рис. 2. Схема общего расположения пассажирского судна на 100 человек проекта PV16M

3. Пассажирское судно для местных линий в «северном» варианте (с остекленным пассажирским салоном и высоким ледовым классом) проекта PV14. Предполагает эксплуатацию на местных линиях.

Архитектурно-конструктивный тип: стальной двухвинтовой теплоход с наклонным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью, с избыточным надводным бортом, с надстройкой бака и юта, со средним расположением надстройки (пассажирского салона), с кормовым расположением рулевой рубки, с машинным отделением в кормовой части, с классом PPP \times O 2,0 (лед 30) А.

Основные характеристики пассажирского судна для местных линий пассажировместимостью 100 человек проекта PV14: длина габаритная – 26,50 м; длина между перпендикулярами – 24,35 м; ширина габаритная (с учетом привальных брусьев) – 6,62 м; ширина расчетная – 6,30 м; высота борта на миделе – 2,50 м; осадка по КВЛ (проектная) – 1,30 м; дедвейт при осадке по КВЛ – 17,0 тонн; максимальная мощность ГД – 2 x 102 кВт; скорость хода 20,0 км/час.

Схема общего расположения пассажирского судна для местных линий проекта PV14 приведена на рисунке 3.

Для размещения экипажа численностью 3 человека предназначается дежурное помещение, в котором располагается также оборудование для хранения и подогрева пищи.

Пассажиры размещаются на сидячих местах в пассажирском салоне. Предусмотрена установка индивидуальных кресел. Расстояние между рядами кресел – не менее 400 мм. Для удобства пассажиров на судне также предусмотрено место для размещения багажа пассажиров, туалеты для пассажиров, бар и буфетная.

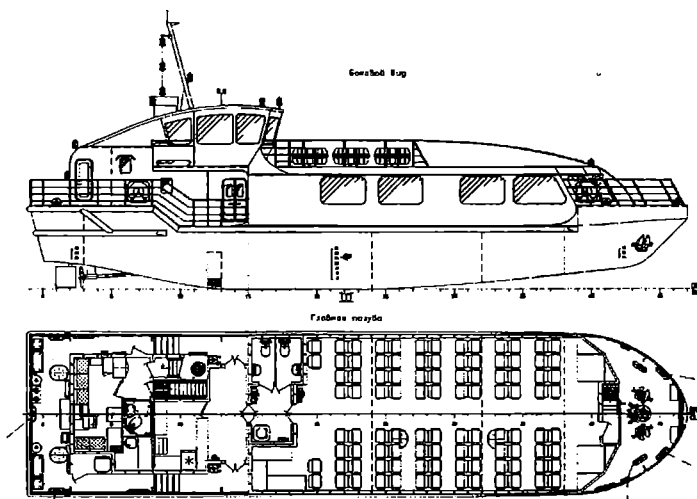


Рис. 3. Схема общего расположения пассажирского судна на 100 человек для местных линий проекта PV14 в «северном» исполнении

Первый ряд предназначен для перевозки пассажиров с детьми. В соответствии с требованиями СанПиН на переборках перед тремя крайними бортовыми креслами с каждого борта в первом ряду предусмотрена установка откидных детских люлек.

Противопожарная защита судна выполнена в соответствии с требованиями Правил РРР. Противопожарная защита обеспечивается конструктивными элементами корпуса и надстройки, системами пожаротушения, системой обнаружения пожара, материалами противопожарной изоляции, а также комплектом противопожарного снабжения.

При этом в качестве расчетных условий эксплуатации приняты наихудшие условия – эксплуатация в Обской губе. Такое решение обеспечивает дополнительный уровень безопасности при стоянке судов на якоре.

Для швартовных операций предусматривается носовой якорно-швартовный шпиль. Управление осуществляется вручную, с местного поста управления.

Для швартовки предусматриваются швартовные кнехты и литые клюзы требуемых размеров.

На судне предусматриваются 6 сбрасываемых спасательных плотов (по 3 с каждого борта) вместимостью по 20 чел. каждый.

Помимо основного варианта пассажирского судна в «северном» исполнении проекта PV14, был разработан «южный» вариант с прогулочной функцией («морской трамвай») вдоль побережья проекта PV14MT.

Назначение пассажирского судна проекта PV14MT – прибрежное 2-3 часовое плавание между портами, причалами, пунктами и портопунктами с удалением от берега до 5 миль, с целью транспортно-туристического обслуживания с высадкой/посадкой как со швартовкой

судна к причалу так и на необорудованный берег причаливанием носом с касанием форштевнем мягкого грунта.

Основные характеристики пассажирского судна проекта PV14MT: длина габаритная – 26,50 м; длина по КВЛ – 24,35 м; ширина габаритная – 6,62 м; ширина – 6,40 м; высота борта – 2,50 м; Осадка по КВЛ (проектная) – 1,30 м; осадка в носу – 0,40 м. Численность экипажа – 3 человека.

Помещения для пассажиров включают салон с креслами для пассажиров площадью 84,2 м²; буфет-бар в составе пассажирского салона – 7,7 м²; холл – 4,6 м²; туалетные комнаты – 2 х 2,2 м². Автономность по запасам топлива / пресной воде / по сточным водам (в районах, где запрещен любой сброс) – 2 суток. Дальность плавания с полными запасами топлива 480 миль. Мощность ГД – 2 х 100 кВт. Число и тип гребных винтов/ рулей – 2 х ВФШ / 2 подвесных балансирных. Скорость эксплуатационная – 10 узлов.

4. Пассажирское прогулочное судно прибрежного района плавания проекта PV01M. Судно предназначено для прогулочных рейсов вдоль береговой линии в прибрежных районах Черного моря. Постоянным местом базирования судна является бухта порта Геленджик, откуда совершаются регулярные рейсы вдоль побережья.

Архитектурно-конструктивный тип: стальной трехпалубный двухвинтовой теплоход, с баком, без юта, с седловатостью и погибью палубы, со средним расположением рубки и кормовым – машинного отделения, одинарными бортами, с наклонным форштевнем и транцевой кормой, с классом PPP \boxtimes М-СП 3,5.

Основные характеристики пассажирского прогулочного судна прибрежного района плавания проекта PV01M пассажировместимостью 300 человек: длина максимальная – 45,03 м; длина по КВЛ – 43,20 м; ширина – 14,05 м; высота борта – 2,82 м; осадка – 2,28 м; пассажировместимость – 300 человек; экипаж – 4 человека, обслуживающий персонал – 17 человек; автономность плавания – 14 часов; мощность ГД – 2 х 375 кВт; скорость – 11 узлов.

Схема общего расположения приведена на рисунке 4.

Всего на судне 300 посадочных мест для пассажиров в ресторанах и на открытых палубах 1-го и 2-го ярусов.

В надстройке первого и второго яруса организованы рестораны. Ресторан на первом ярусе оборудован сценой и гримерной. В ресторане на втором ярусе организована VIP зона. На открытой палубе первого яруса расположен танцпол со своим баром. В кормовой части палубы второго яруса оборудован бассейн с местом для отдыха пассажиров.

С каждого борта в ресторане на палубе первого яруса судна организованы отдельные зоны, оборудованные столиками «на двоих». Посетители ресторана, находящиеся за столиками в таких «особых» зонах, имеют возможность наслаждаться морским пейзажем через окна увеличенных размеров, установленные непосредственно перед каждым столиком.

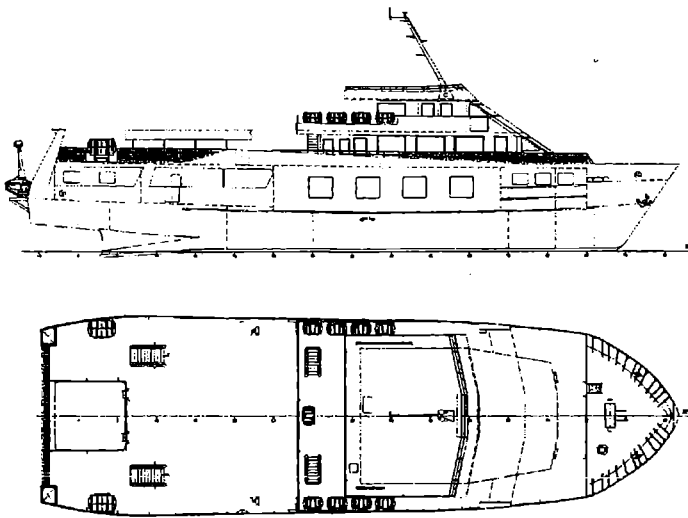


Рис. 4. Схема общего расположения пассажирского судна вместимостью 300 человек проекта PV01M

5. Пассажирское прогулочное судно проекта PV20. Судно предназначено для прогулочных и прибрежных рейсов.

Архитектурно-конструктивный тип: стальной двухпалубный, двухвинтовой пассажирский теплоход прибрежного плавания, с вертикальным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью, с избыточным надводным бортом, с надстройкой бака, со средним расположением рулевой рубки, с машинным отделением в кормовой части, с носовым подруливающим устройством, с классом PC KM ⚓ R3 AUT3-C Passenger ship.

Основные характеристики пассажирского прогулочного судна-банкеттохода проекта PV20 пассажировместимостью 150 человек: длина габаритная с кормовой откидной площадкой – 42,70 м; длина по КВЛ – 41,25 м; ширина – 8,60 м; высота борта – 3,40 м; осадка ЛГВЛ – 2,20 м; дедвейт при осадке по ЛГВЛ – 90 тонн; мощность ГД – 2 x 250 кВт; скорость хода – 11 узлов; максимально разрешенное число пассажиров на борту – 150 человек; экипаж – 5 человек; обслуживающий персонал – 15-20 человек.

Схема общего расположения пассажирского прогулочного судна-банкеттохода проекта PV20 приведена на рисунке 5.

Для обеспечения отдыха пассажиров численностью до 150 человек используются верхняя открытая прогулочная палуба с баром на 100 мест, ресторан на 100 мест на главной палубе; гардеробная и туалетные комнаты на нижней палубе в носовой части; 2 двухместные VIP каюты на нижней палубе в средней части. Имеются камбуз (для ресторанных нужд), буфетная, посудомоечная.

На верхней палубе с левого борта установлен гидроцикл.

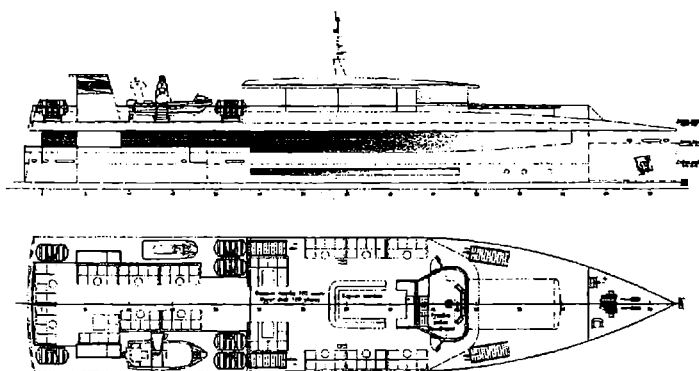


Рис. 5. Схема общего расположения пассажирского прогулочного судна-банкетхода проекта PV20

Дежурная шлюпка вместимостью 6 человек устанавливается на верхней палубе по правому борту. Подъем и спуск шлюпки осуществляется шлюпбалкой. На судне предусматриваются 6 сбрасываемых спасательных плотов (по 3 с каждого борта) вместимостью по 100 чел. каждый.

Судно оборудовано площадкой для купания и доступа к плавсредствам, находящимся на воде.

6. Речной грузопассажирский паром с усиленным ледовым классом проекта RPF14 на 200 пассажиров. Как показало изучение условий работы судов в районе Архангельска, глубина на основном ходу около 4 м, но у берегов уменьшается до 2,5-3 м, соответственно осадка проекта RPF14 не превышает 2,4 м. По длине судно не превышает 40 метров, чтобы не мешать судовому ходу, так как паром будет в условиях города швартоваться поперек реки. Из условий маневрирования на течении ширина ограничивается значением в 10 м.

Для высадки пассажиров (при отсутствии загрузки автомобилями) предназначается бортовой лацпорт.

В соответствии с особенностями эксплуатации (в ночное время суда могут оставаться на островах для срочной доставки больных, решения задач МВД и МЧС, обеспечения срочной доставки продуктов и медикаментов для населения островов) автономность по топливу – 5 суток, по прочим видам запасов – 2 суток.

Схема общего расположения грузопассажирского судна проекта RPF14 вместимостью 200 человек и два автопоезда дана на рисунке 6. Проект предназначен для эксплуатации на островных территориях города Архангельска в дельте реки Северная Двина, а также на других местных линиях в северных регионах, где необходимо работать в ледовых условиях.

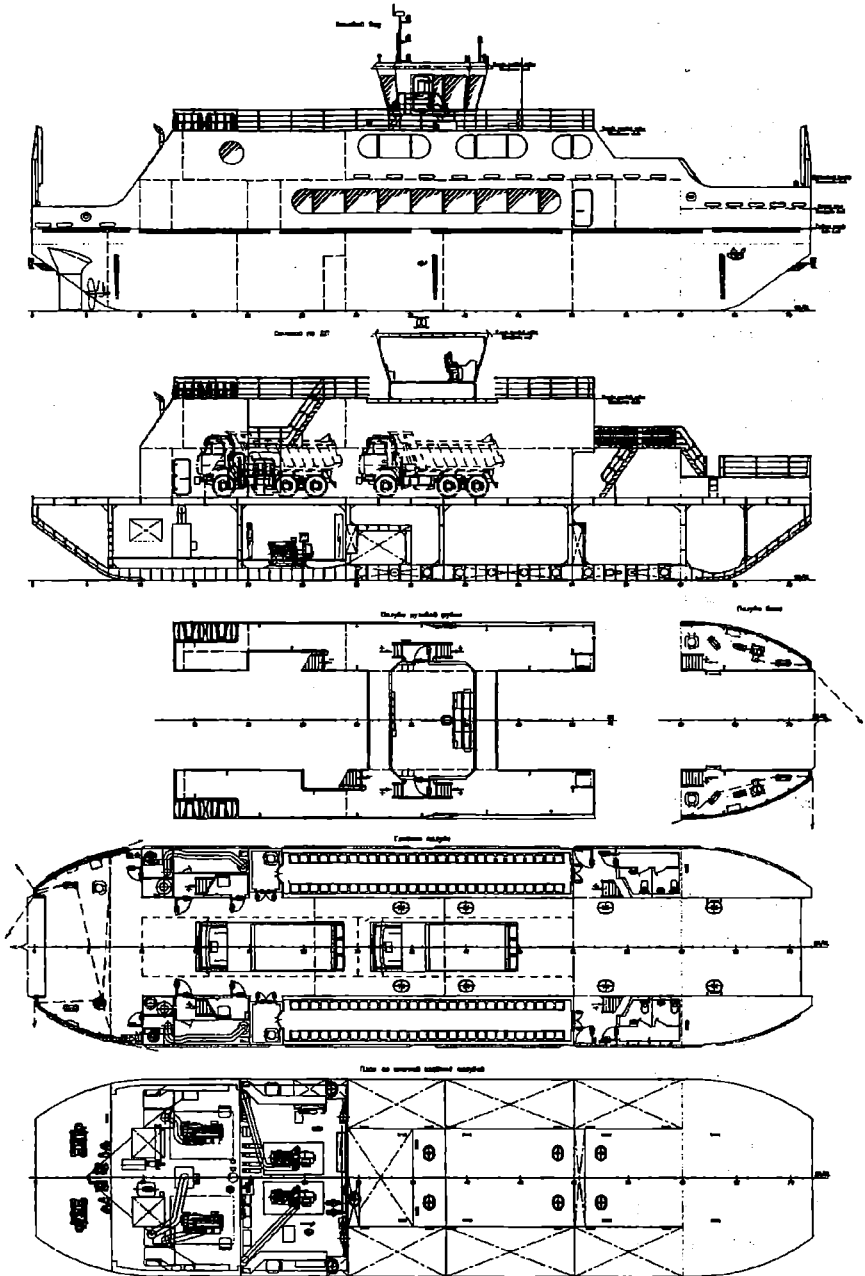


Рис. 6. Общее расположение парома на 200 пассажиров проекта RPF14

Принятый архитектурно-конструктивный тип: стальной двухвинтовой теплоход с транцевой носовой и транцевой кормовой оконечностями, с избыточным надводным бортом, с расположенными побортно надстройками, выполненными из сплава АМг5, с носовой и кормовой аппарелями, со средним расположением рулевой рубки, с машинным отделением в кормовой части.

Пассажиры размещаются на сидячих местах в двух пассажирских салонах, а также на открытых частях прогулочной палубы. На судне предусмотрены туалеты для пассажиров.

На переборках пассажирских салонов возле крайних сидений предусмотрена установка откидных детских люлек (8 штук).

Для размещения экипажа численностью 3 человека предназначается дежурное помещение, в котором располагается оборудование для хранения и подогрева пищи, а также места для кратковременного отдыха экипажа.

Основные характеристики парома проекта RPF14: длина максимальная – 39,60 м; длина по КВЛ – 38,22 м; ширина габаритная – 10,40 м; ширина – 10,00 м; высота борта – 4,20 м; осадка по КВЛ – 2,40 м; дедвейт – 349 тонн; автономность по запасам топлива / питьевой воды, сточным водам, НСВ и мусора – 5 / 2 суток; площадь грузовой палубы – 150 м²; автомобилеместимость грузовых автопоездов / легковых машин – 2 / 7 единиц; класс Российского Речного Регистра – \times Р 1,2 (лед 40) А; мощность ГД – 2 х 479 кВт; винто-рулевое устройство – 2 х ВФШ + 2 подвесных балансированных руля; экипаж, – 3 человека; скорость – 10,8 узлов.

7. Речной мелкосидящий 40-местный грузопассажирский паром проекта RPF15. Паром для местных областных линий предполагается для переправ с мелководным участками, глубина на участках до 0,8 м.

Свободная палуба длиной около 20 м (для размещения в длину самосвала или автопоезда). Нагрузка на ось – 15 т.

Сидячих мест около 40. Остальные могут перевозиться стоя.

Носовая аппарель 5 х 5 метров для обеспечения выгрузки автотехники на необорудованном берегу. В соответствии с условиями эксплуатации автономность по всем видам запасов 2 суток.

Схема общего расположения грузопассажирского судна проекта RPF15 вместимостью 50 человек и одного грузового автопоезда дана на рисунке 7.

Принятый архитектурно-конструктивный тип: стальной самоходной двухвинтовой паром с наклонным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью, с избыточным надводным бортом, с кормовой рубкой, без бака, с ютом, с машинным отделением в кормовой части, с носовой аппарелью.

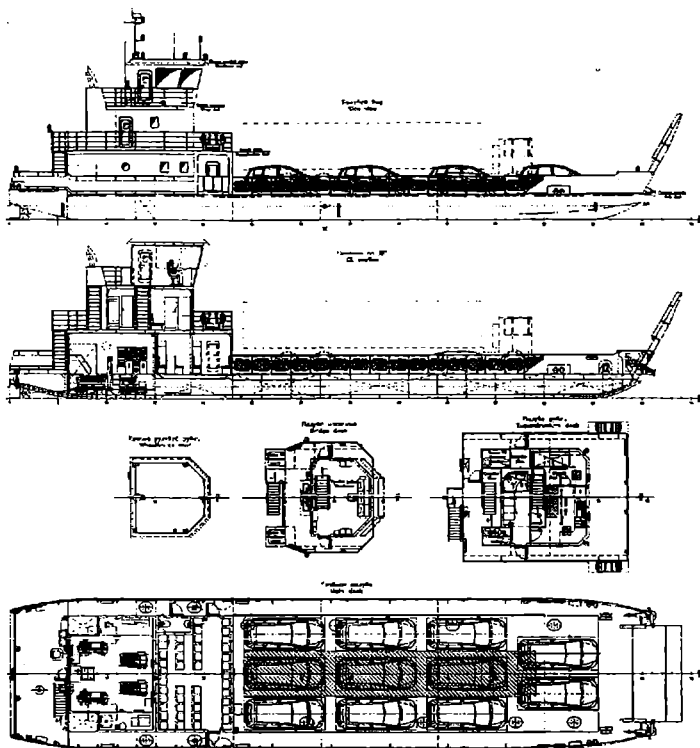


Рис. 7. Общее расположение мелкосидящего парома на 50 человек проекта RPF15

Пассажиры размещаются на сидячих местах в пассажирском салоне на главной палубе (40 мест), остальные – стоя. На переборках пассажирских салонов возле крайних сидений предусмотрена установка откидных детских люлек (4 штук).

Для размещения экипажа численностью 3 человека предназначается дежурное помещение, в котором располагается оборудование для хранения и подогрева пищи, а также места для кратковременного отдыха экипажа.

Основные характеристики парома проекта RPF15: длина максимальная (с аппарелью, закрепленной по-походному) – 37,68 м; длина по КВЛ – 34,995 м; ширина габаритная (с привальным брусом) – 8,614 м; ширина – 8,50 м; высота борта – 1,40 м; осадка – 0,70 м; дедвейт 75,8 тонн; автономность – 2 суток; площадь грузовой палубы – 130 м²; автомобилейместимость автопоездов / легковых – 1 / 11 единиц; мощность ГД – 2 x 148 кВт; винто-рулевое устройство – 2 x ВФШ + 2 подвесных балансированных руля; экипаж – 3 человека; скорость – 8,0 узлов.

8. Грузовой паром проекта DCV47. Паром для перевозки генеральных, навалочных, контейнерных грузов на грузовой палубе, колесной и гусеничной техники накатным способом, рейдовая разгрузка и погрузка судов, доставка этих грузов на необорудованный берег с возможностью осушки на песчано-гравийном грунте и обеспечение горизонтальной выгрузки доставленных грузов с помощью носовой аппарели или судовым грузовым краном. Возможна перевозка пассажиров.

Схема общего расположения дана на рисунке 8.

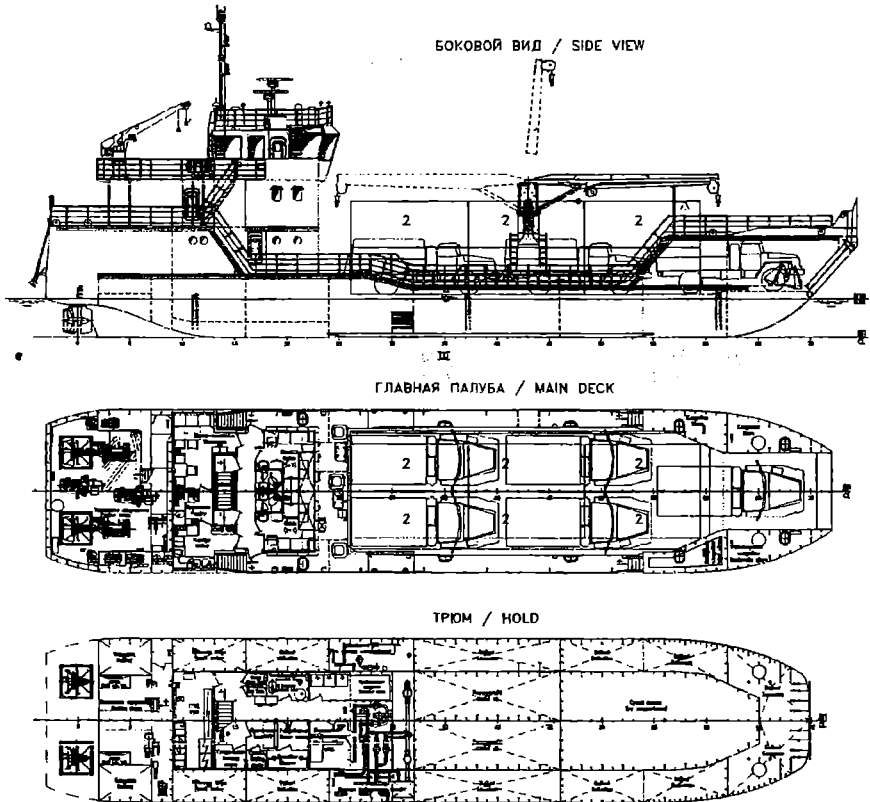



Рис. 8. Общее расположение самоходного паром проекта DCV47 .

Самоходный паром проекта DCV47 представляет собой баржу ограниченного района плавания R1, с ледовым классом Ice 2, с наклонным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью, с надстройками бака и юта, с грузовым бункером в средней части и носовой аппарелью, с кормовым расположением жилой надстройки и машинного отделения, с двухвальной дизельной энергетической установкой с полноповоротными винто-рулевыми колонками.

Движение и управляемость судна обеспечивается двумя кормовыми полноповоротными винто-рулевыми колонками с винтами фиксированного шага в насадках. Управление винто-рулевыми колонками осу-

ществляется из рулевой рубки на пульте судовождения, бортовых постов, а также аварийное – из МО.

Носовая аппарель представляет собой 2-х секционную конструкцию, с электрическим приводом подъёма/опускания. Секции аппарели соединены между собой и корпусом судна при помощи шарниров, которые позволяют использовать аппарель в рабочем положении в максимально широком диапазоне углов наклона секций как относительно палубы, так и относительно друг друга.

Основные характеристики самоходного парома проекта DCV47: длина максимальная – 42,60 м; длина между перпендикулярами – 38,40 м; ширина наибольшая (с учетом привальных брусьев) – 8,82 м; ширина – 8,60 м; высота борта – 2,70 м; осадка по ЛГВЛ – 2,00 м; дедвейт при осадке по ЛГВЛ – 205 тонн; дедвейт при проведении рейдовой погрузки/выгрузки – 264 тонн; допускаемая нагрузка на грузовую палубу – 15 тонн на ось автотехники или масса гусеничной техники до 60 тонн; контейнеровместимость – 12 TEU; грузовые краны – 1 x 5,8 т (вылет 10 м); класс Российского Морского Регистра Судоходства – КМ  Ice2 R1 AUT3 OMBO; максимальная длительная мощность ГД (не менее) – 2 x 261 кВт; винто-рулевой комплекс – 2 полноповоротные ВРК с ВФШ; скорость хода при осадке по ЛГВЛ – 9 уз; экипаж / число мест – 10/15 чел.

Выводы. Предлагаемая проектная «сетка» пассажирских и грузо-пассажирских судов для линейных перевозок пассажиров была основана на следующих принципах:

- учет мелководья и фактических путевых условий;
- ледовые усиления для значительной части регионов с целью продления навигации;
- учет погодных особенностей в виде «южного» салона с максимальным остеклением пассажирских салонов, с возможностью раскрытия (опускаемые или подъемные окна, раздвижные крыши), ходовые мостики с открытыми крыльями или «северного» салона с закрытым по всей ширине судна ходовым мостиком с минимизацией остекления (для уменьшения тепловых потерь) пассажирского салона;
- в соответствии с предполагаемыми направлениями перевозок для пассажирских судов и грузопассажирских паромов, как правило, назначен класс PPP «О»; в обоснованных случаях, где это требуют ветро-волновые условия района эксплуатации возможно принятие класса «М»; для мелко-сидящих пассажирских судов и паромов с целью снижения металлоемкости корпуса при удовлетворительных ветро-волновых условиях района плавания принимается класс «Р»;
- сохранение толщин настилов и обшивок на уровне минимальных с целью минимизации массы металлического корпуса, решение задач обеспечения местной прочности и устойчивости за счет рационального сочетания элементов основного и рамного набора;

- запрещение размещения открываемых отверстий (иллюминаторов) в пределах непроницаемого основного корпуса;
- запрещение несимметричного по ширине распределения запасов, которое могло бы привести к возникновению крена при эксплуатации;
- запрещение размещения нефтесодержащих жидкостей (топлива, масла, подсланевых вод) в цистернах, контактирующих с забортной водой.

Суда для местных линий могут иметь в большей или меньшей степени (в зависимости от условий эксплуатации) упрощенную форму корпуса. От экстремально упрощенной «понтонной» формы у относительно тихоходных грузопассажирских паромов, работающих на коротких линиях мелководных переправ с одного берега на другой со скоростями хода до 10-12 км/ч, до умеренно упрощенной (сломы по скуле и отсутствие двухплоскостной кривизны днища кормовой оконечности) у паромов со скоростями хода до 15-24 км/ч.

Для посадки и высадки пассажиров с носа на пассажирских судах пригородных и внутригородских линиях часто используют носовые обводы выше ватерлинии с развалом для обеспечения достаточной площади палубы бака.

- Грузопассажирские паромы «челночного» типа в надводной части имеют симметричные формы носовой и кормовой оконечностей для обеспечения единообразия условий погрузки/выгрузки как с носа так и с кормы.

Форштевень пассажирских судов выполняется наклонным в надводной части и с подъемом днища в подводной для обеспечения возможности причаливания носом к берегу в необорудованных местах для посадки и высадки пассажиров с носа.

Грузопассажирские паромы в надводной части имеют носовой транец для обеспечения установки аппарели и причаливанию носом к местам погрузки/выгрузки.

Кормовая оконечность пассажирских судов выполняется, как правило, транцевой для уменьшения габаритной длины судна.

На грузопассажирских паромках транец в надводной части кормы служит для обеспечения установки аппарели и причаливанию кормой к местам погрузки/выгрузки.

Кормовые обводы в подводной части (в особенности для судов с экстремально ограниченной осадкой) имеют характерные туннельные образования для обеспечения условий работы гребных винтов.

На таких судах судовая энергетическая установка дизельная. Причем, как правило, применяются два главных двигателя с двухвальной установкой с гребными винтами и рулями/направляющими насадками, обеспечивающие соответствующие пропульсивные качества и достаточную маневренность для данных судов с большим соотношением ширины к осадке.

Для мелкосидящих судов (с экстремально ограниченной осадкой) целесообразно применение современных гребных колес (прекрасным примером являются пассажирские суда типа «Сура») или водометных движителей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров Г.В. «Линейка» грузовых и грузопассажирских паромов для Черного моря // *Морская Биржа*. – 2014. – № 1(47). – С. 14-27.
2. Егоров Г.В., Автутов Н.В., Калугин Я.В. Основные тенденции в пассажирских перевозках водным транспортом // *Материалы VI междуна. научно-техн. конф. «Инновации в судостроении и океанотехнике», посвященной 95-летию Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова*. – Николаев: НУК, 2015. – С. 62-64.
3. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Анализ риска эксплуатации отечественных речных пассажирских судов // *Морской вестник*. – 2013. – № 1 (45). – С. 100-105.
4. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Суда и паромы для обеспечения линейных перевозок пассажиров по водным коммуникациям России // *Морская Биржа*. – 2016. – № 4 (58). – С. 26-45.
5. Егоров Г.В., Калугин Я.В., Егоров А.Г. Анализ состояния речного пассажирского флота России // *Проблемы техники*. – 2012. – № 4. – С. 6-39.
6. Егоров Г.В., Тонюк В.И., Егоров А.Г. Предпосылки и основные результаты проектирования грузопассажирских судов для Северной Двины // *Морской Вестник*. – 2014. – № 1 (49). – С. 21-27.
7. Егоров Г.В., Тонюк В.И., Егоров А.Г. Обоснование концептов новых пассажирских судов для Архангельской области // *Вісник ОНМУ*. – Одеса: ОНМУ, 2014. – Вип. 1(40). – С. 37-60.

Стаття надійшла до редакції 12.12.2016

Рецензенти:

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

доктор технічних наук, професор, головний науковий співпрацівник Морського Інженерного Бюро, науковий консультант
В.В. Козляков

УДК 629.12:532.059

Н.В. Ефремова, Е.Ю. Федорова, Е.К. Рожко

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДЕФОРМИРУЕМЫХ КООРДИНАТ
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНЕНИЯ КОНЕЧНОЙ АМПЛИТУДЫ
НА ГЛУБОКОЙ ВОДЕ И МЕЛКОВОДЬЕ**

Розглянуті особливості визначення характеристик хвилювання при використанні метода деформованих координат. Наведено порівняння профілів хвиль, які розраховані для мілководної акваторії за наближеною теорією, що запропонована, за теорією Стокса та за кноїдальною теорією.

Ключові слова: *глибока вода, мілководдя, нелінійна теорія хвиль, метод деформованих координат, профіль хвилі.*

Рассмотрены особенности определения характеристик волнения конечной амплитуды при использовании метода деформируемых координат на глубокой воде и на мелководье. Приведено сравнение профилей волн, рассчитанных для мелководной акватории по предлагаемой приближенной теории, по теории Стокса и кноидальной теории.

Ключевые слова: *глубокая вода, мелководье, нелинейная теория волн, метод деформируемых координат, профиль волны.*

Specifics of defining characteristics for finite amplitude waves with help of deformed coordinates method for deep water and shallowness are shown. Comparison of shallow water wave profiles for proposed approximate theory, Stokes and cnoidal theories is introduced

Keywords: *deep water, shallow water, non-linear wave theory, deformed coordinates method, wave profile.*

Введение. Безопасная эксплуатация морехозяйственного комплекса Украины невозможна без знания характеристик волнения. Требуется и экстремальные данные, предназначенные для режима выживания объектов, и оперативные данные – для установленного режима эксплуатации.

Глубины на большей части украинского сектора акватории Черного моря не превышают 100 м, а средняя глубина моря – более 1200 м [1]. Поскольку в этих условиях возможно существование как коротких, так и достаточно длинных волн, то параметры волнения должны определяться и для ограниченной, и для бесконечной глубины.

Волны предельной крутизны вне прибойной зоны встречаются достаточно редко; выражения, определяющие характеристики волн конечной амплитуды, сложны и громоздки. Поэтому для инженерных расчетов в основном используются результаты линейной теории волновых движений.

Следовательно, вывод и верификация компактного приближенного выражения для профиля прогрессивных волн конечной амплитуды в жидкости произвольной глубины представляется весьма актуальной задачей.

Анализ основных достижений и литературы. Характеристики волнения конечной амплитуды более полувека исследуются отечественными и многочисленными зарубежными авторами. Основные результаты получены в рамках потенциальной теории.

Среди большого количества существующих нелинейных теорий волн в акватории ограниченной наибольшее распространение получили теория Стокса и кноидальная теория.

При использовании теории Стокса в инженерных приложениях, как правило, ограничиваются пятью членами разложения уравнения волновой поверхности в ряд по крутизне (например, [2-4]). В [2] в качестве примера приведено сравнение характеристик волнения, полученных по теории третьего и пятого порядков. Существуют [5] разложения до одиннадцатого порядка.

Следует отметить [5] использование теории Чапелера, где коэффициенты разложения определяются численно методом наименьших квадратов (путем минимизации ошибок в граничных условиях на свободной поверхности), а также [5] применение так называемой новой волновой теории, которая позволяет получить линейное приближение к наиболее вероятной форме максимальной волны в шторме.

Для очень малых глубин (меньших десятой части длины волны) обычно рекомендуется использовать теорию кноидальных волн. Известно [6] разложение до девятого порядка для уединенной волны и до пятого порядка для кноидальных волн. В [7] указано существование для уединенных волн разложений четырнадцатого, семнадцатого и двадцать седьмого порядков.

В работах [8], [9] приведены приближенные выражения для потенциалов скоростей свободных прогрессивных волн конечной амплитуды на мелководье и на глубокой воде соответственно, оценка качества полученного решения приведена ниже.

Применимость различных теорий волнообразования можно оценить по значениям числа Урссла $N_{URS} = \frac{H\lambda^2}{h^3}$ [5]: при $N_{URS} < 10$ – теория Стокса, при $N_{URS} > 26$ – кноидальная теория. В промежутке применимы обе теории за исключением случаев, когда при тех же условиях можно использовать линейную теорию. По другим источникам, кноидальная теория должна применяться при $N_{URS} > 40$ [6].

Применение нелинейной теории целесообразно для ветровых волн предельной крутизны на глубокой воде, для длинных волн на значительном мелководье и в зоне разрушения волн.

Согласно данным [1], период ветровых волн в Черном море, как правило, не превышает 9 с. Длина такой волны в условиях глубокой воды 126 м. Высота волн не превышает 6 м (кроме самых крупных штормовых). Волны зыби в Черном море длиннопериодные – 13-15 с. Длины таких волн на глубокой воде соответственно равны 264-351 м, высоты – до 11 м.

В мелководной зоне (диапазон глубин – от половины длины волны до критической глубины) волновой профиль меняется. Вершины заостряются, становятся более пологими подошвы). Крупные волны уменьшаются, мелкие удлиняются и растут по высоте [6]. Однако средние периоды и распределения периодов ветрового волнения при переходе с глубокой воды на мелководье практически не изменяются (статистические данные) [5].

Разрушение волн начинается при критической глубине, равной удвоенной высоте волны. Чем меньше исходная крутизна волн глубокой воды, тем больше возрастает их высота и на меньшей относительной глубине начинается их разрушение. Например, волна зыби с периодом 13 с при крутизне 1/50 начинает разрушаться на глубине 10,6 м, при крутизне 1/30 – на глубине 22,3 м; при периоде волны 15 с эти глубины соответственно 14 м и 27,6 м.

Цель исследований – определение профиля волнения конечной амплитуды в условиях глубокой воды и мелководья методом деформируемых координат. сравнение профилей волн, рассчитанных для мелководной акватории по предлагаемой приближенной теории, по теории Стокса и кноидальной теории.

Постановка задачи. Будем считать жидкость идеальной, тяжелой, несжимаемой, ее движение – потенциальным. Для описания волнового движения жидкости в жидкости произвольной глубины h используем неподвижную и подвижную системы координат. Как это принято в гидродинамических задачах, начало неподвижной декартовой системы координат $Oxyz$ совместим со свободной поверхностью, ось x_1 направим в сторону распространения волн, ось z_1 - вертикально вверх. Подвижная декартова система координат Ox_1z_1 при $t = 0$ совпадает с неподвижной и равномерно перемещается в сторону бега волн со скоростью c . Потенциал скорости $\varphi(x_1, z_1, t)$ и профиль волны периодичны с периодом, равным длине волны λ .

Перейдем, как это сделано в [8], к безразмерным характеристикам

$$\begin{aligned} \bar{x} &= k(x_1 - c \cdot t); \quad \bar{z} = k \cdot z_1; \quad H = kh; \quad k = 2 \cdot \pi / \lambda; \\ \varphi(x_1 - c \cdot t, z_1) &= \frac{c}{k} \Phi(x, z); \quad z_g(x_1 - c \cdot t) = \frac{1}{k} \zeta_g(x). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $z_g = z_g(x_1, t)$ – уравнение свободной поверхности взволнованной жидкости. В дальнейшем изложении знак «~» над безразмерными координатами и функциями опустим. Отметим также, что функция $\zeta_\epsilon(x) - 2\pi$ – периодична.

Область определения потенциала $\Phi(x, z)$ представляет собой соответственно:

- на глубокой воде – нижнюю полуплоскость $z \leq 0$;
- на мелководье глубины h – полосу $\{-\infty < x < \infty, -H \leq z \leq 0\}$.

Эта область – физическое пространство, в котором описываются кинематические и гидродинамические характеристики исследуемого волнового движения.

Следуя процедуре, изложенной в [8; 9], выполним замену переменных:

для неограниченной глубины

$$x = \xi + F(\xi, \eta), \quad z = \eta; \quad (2)$$

для мелководья

$$x = \xi + K(\xi, \eta); \quad z = \eta. \quad (3)$$

Функции $F(\xi, \eta)$ и $K(\xi, \eta)$, деформирующие пространство, определяются согласно [8; 9], конкретный вид их приведен ниже. Далее взамен нормированного физического пространства (x, z) будем использовать условное деформированное пространство (ξ, η) .

В пространстве (ξ, η) для потенциала $\Phi(x, z)$ получены выражения:

для глубокой воды [9]

$$\Phi(\xi, \eta) = A \exp(\omega \eta) \sin \omega \xi, \quad (4)$$

где

$$\omega = \frac{g}{kc^2} = \frac{1}{2\pi} \frac{g\lambda}{c^2};$$

для мелководья [8]

$$\begin{aligned} \Phi(\xi, \eta) = & Bch\alpha(\eta + H)\sin\alpha\xi - \\ & - \frac{1}{2}B^2\alpha^3 \frac{ch2\alpha(\eta + H) \cdot \sin 2\alpha\xi}{\omega\alpha sh2\alpha H - 2\alpha^2 ch2\alpha H} - \frac{1}{8}B^2\alpha \sin 2\alpha\xi, \end{aligned} \quad (5)$$

где α – волновое число в деформированном пространстве (ξ, η) , связанное с ω дисперсионным соотношением

$$\alpha = \omega th \alpha H . \quad (6)$$

Константы A в формуле (4) и B в формуле (5), приведенные в [9] и [8] соответственно без вывода, определяются ниже.

Обозначим h_+ высоту гребня волны над невозмущенной свободной поверхностью, а h_- – отстояние подошвы от невозмущенной свободной поверхности. Тогда в нормированной физической системе координат (x, z) величина $kr_e = \frac{k}{2}(h_+ + h_-)$ представляет собой полувысоту волны.

Материалы исследований. Уравнение волнового профиля в системе координат (x, z) , соответствующее нелинейному граничному условию на свободной поверхности, имеет вид

$$\begin{aligned} \zeta_e(x) = & \frac{1}{\omega} \frac{\partial}{\partial x} \Phi[x, z = \zeta_e(x)] - \\ & - \frac{1}{2} \frac{1}{\omega} \left\{ \left[\frac{\partial}{\partial x} \Phi[x, z = \zeta_e(x)] \right]^2 + \left[\frac{\partial}{\partial z} \Phi[x, z = \zeta_e(x)] \right]^2 \right\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Разлагая производные потенциала $\Phi(x, z)$ по степеням $\zeta_B(x) = O(\varepsilon)$ и, сохраняя члены до второго порядка малости включительно, находим

$$\begin{aligned} \zeta_e(x) = & \frac{1}{\omega} \left[\frac{\partial}{\partial x} \Phi(x, 0) + \zeta_e(x) \cdot \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} \Phi(x, 0) \right] - \\ & - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\omega} \left\{ \left[\frac{\partial}{\partial x} \Phi(x, 0) \right]^2 + \left[\frac{\partial}{\partial z} \Phi(x, 0) \right]^2 \right\}, \end{aligned} \quad (8)$$

откуда следует

$$\begin{aligned} \zeta_e(x) = & \frac{1}{\omega} \left[\frac{\partial}{\partial x} \Phi(x, 0) + \frac{1}{\omega} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \Phi(x, 0) \cdot \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} \Phi(x, 0) \right] - \\ & - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\omega} \left\{ \left[\frac{\partial}{\partial x} \Phi(x, 0) \right]^2 + \left[\frac{\partial}{\partial z} \Phi(x, 0) \right]^2 \right\}. \end{aligned} \quad (9)$$

Учитывая зависимости между производными потенциалов, записанных в нормированном физическом пространстве и деформированном пространстве и сохраняя по-прежнему члены до второго порядка малости включительно, запишем в переменных (ξ, η) деформированного пространства

$$\zeta_e(\xi) = \frac{1}{\omega} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \Phi(\xi, 0) - \frac{\partial}{\partial \xi} \Phi(\xi, 0) \frac{\partial}{\partial \xi} F(\xi, 0) \right] + \frac{1}{\omega} \cdot \frac{1}{\omega} \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \Phi(\xi, 0) \times \left. \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \eta} \Phi(\xi, 0) - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\omega} \left\{ \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \Phi(\xi, 0) \right]^2 + \left[\frac{\partial}{\partial \eta} \Phi(\xi, 0) \right]^2 \right\} \right\} \quad (10)$$

Функция $F(\xi, \eta)$ записана [9] в виде

$$F(\xi, \eta) = -\frac{1}{2} \Phi(\xi, \eta) = -\frac{1}{2} \cdot A \cdot \exp(\omega \eta) \cdot \sin \omega \xi, \quad (11)$$

тогда

$$\zeta_e(\xi) = \frac{1}{\omega} \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \Phi(\xi, 0) + \frac{1}{\omega} \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \Phi(\xi, 0) \cdot \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \eta} \Phi(\xi, 0) - \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial \eta} \Phi(\xi, 0) \right]^2 \right\} \quad (12)$$

На глубокой воде уравнение волнового профиля в соответствии с (4) записывается в виде

$$\zeta_e(\xi) = A \cdot \cos \omega \xi + \omega \cdot A^2 \cos^2 \omega \xi - \frac{1}{2} \omega \cdot A^2 \cdot \sin^2 \omega \xi. \quad (13)$$

Поскольку касательная к волновому профилю у вершины и подошвы волны горизонтальна, т.е.

$$\frac{\partial \zeta_e(\xi = 0)}{\partial \xi} = 0 \quad \text{при} \quad \zeta_e(\xi = 0) = k r_e, \quad (14)$$

для определения константы A используется квадратное уравнение

$$\omega \cdot A^2 + A - k r_e = 0, \quad (15)$$

решение которого имеет вид

$$A = \frac{1}{2\omega} \left(-1 \pm \sqrt{1 + 4\omega k r_e} \right). \quad (16)$$

Квадратное уравнение для определения константы A имеет два действительных корня противоположных знаков, обеспечивающих при $\xi = 0$, следовательно, и при $x = 0$ одну и ту же полувысоту $\zeta_\epsilon(0) = kr_\epsilon$. Однозначный выбор значения A получается из условия

$$\frac{d}{d\xi} x(\xi, 0) > 0, \quad (17)$$

что означает отсутствие разрушающихся волн в пространстве (x, z) . Тогда

$$\frac{d}{d\xi} x(\xi, 0) = 1 - \frac{1}{2} \omega A \cos(\omega \xi), \quad \left| \frac{1}{2} \omega A \right| < 1 \quad (18)$$

и окончательно

$$A = \frac{1}{2\omega} (-1 + \sqrt{1 + 4\omega kr_\epsilon}). \quad (19)$$

Уравнение волнового профиля на мелководье получим, подставляя (5) в (12) и сохраняя члены до порядка B^2 включительно

$$\begin{aligned} \zeta_\epsilon(\xi) = & \frac{1}{\omega} (\alpha B \operatorname{ch} \alpha H \cos \alpha \xi - B^2 \alpha^3 \frac{\operatorname{ch} 2\alpha H \cdot \cos 2\alpha \xi}{\omega \operatorname{sh} 2\alpha H - 2\alpha \operatorname{ch} 2\alpha H} - \\ & - \frac{1}{4} B^2 \alpha^2 \cos 2\alpha \xi + \frac{1}{2\omega} B^2 \alpha^3 \operatorname{sh} 2\alpha H \cos^2 \alpha \xi - \frac{1}{4} B^2 \alpha^2 \operatorname{sh}^2 \alpha H + \\ & + \frac{1}{4} B^2 \alpha^2 \operatorname{sh}^2 \alpha H \cos 2\alpha \xi). \end{aligned} \quad (20)$$

Для определения константы B используем выражение

$$\begin{aligned} kr_\epsilon = & B \left(\frac{\alpha}{\omega} \operatorname{ch} \alpha H \right) - \\ & - B^2 \left(\frac{\alpha^3}{\omega} \frac{\operatorname{ch} 2\alpha H}{\omega \operatorname{sh} 2\alpha H - 2\alpha \operatorname{ch} 2\alpha H} + \frac{\alpha^2}{4\omega} - \frac{\alpha^3}{2\omega^2} \operatorname{sh} 2\alpha H \right). \end{aligned} \quad (21)$$

Преобразуем его с учетом дисперсионного соотношения (6). Тогда

$$\frac{\alpha}{\omega} \operatorname{ch} \alpha H = \operatorname{sh} \alpha H. \quad (22)$$

Далее

$$\frac{\alpha^3}{\omega} \frac{ch2\alpha H}{\omega sh2\alpha H - 2\alpha ch2\alpha H} = -\alpha \frac{1+th^2\alpha H}{2th\alpha H}; \quad \frac{\alpha^2}{4\omega} = \frac{\alpha}{4} th\alpha H; \quad (23)$$

$$\frac{\alpha^2}{4\omega} sh^2\alpha H = \frac{\alpha}{4} \frac{th^3\alpha H}{1-th^2\alpha H}; \quad \frac{\alpha^3}{2\omega^2} sh2\alpha H = \alpha \frac{th^3\alpha H}{1-th^2\alpha H}.$$

Выполняя подстановки и преобразования, получим

$$\zeta_e(\xi) = B sh\alpha H \cos\alpha\xi + B^2\alpha \left(\left[\frac{1+th^2\alpha H}{2th\alpha H} - \frac{th\alpha H}{4} + \frac{3}{4} \frac{th^3\alpha H}{1-th^2\alpha H} \right] \times \right. \\ \left. \times \cos 2\alpha\xi + \frac{1}{4} \cdot \frac{th^3\alpha H}{1-th^2\alpha H} \right). \quad (24)$$

Отсюда

$$\zeta_e(\xi) = B sh\alpha H \cos\alpha\xi + \\ + B^2\alpha \frac{(2th^4\alpha H - th^2\alpha H + 2)\cos 2\alpha\xi + th^4\alpha H}{4th\alpha H(1-th^2\alpha H)}. \quad (25)$$

При $\xi = 0$ получается

$$kr_e = B sh\alpha H + B^2\alpha \frac{3th^4\alpha H - th^2\alpha H + 2}{4th\alpha H(1-th^2\alpha H)}. \quad (26)$$

Квадратное уравнение для определения константы B

$$\frac{\alpha(3th^4\alpha H - th^2\alpha H + 2)}{4th\alpha H(1-th^2\alpha H)} \cdot B^2 + sh\alpha H \cdot B - kr_e = 0. \quad (27)$$

Уравнение (27), как и (15), имеет два действительных корня противоположных знаков, обеспечивающих при $\xi = 0$ (т.е. $x = 0$) одну и ту же полувысоту волны $\zeta_e(0) = kr_e$. Выбор корня, как и в случае глубокой воды, определяется условием неразрушения волны в нормированном физическом пространстве (x, z) . Это выполняется, если

$$\frac{\partial x(\xi, 0)}{\partial \xi} = 1 - \frac{\alpha B}{2} \cdot ch\alpha H \cdot \cos\alpha\xi \geq 0, \quad \frac{\alpha B}{2} ch\alpha H < 1. \quad (28)$$

Таким образом, константа B есть положительный корень уравнения (27).

Покажем, что средний уровень взволнованной жидкости не совпадает с невозмущенной свободной поверхностью.

$$\int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \zeta_\theta(x) dx = \int_{-\frac{\pi}{\alpha}}^{\frac{\pi}{\alpha}} \zeta_\theta(\xi) \frac{dx}{d\xi} \cdot d\xi =$$

$$= B^2 \alpha \cdot \frac{2\pi}{\alpha} \cdot \frac{1}{4} \left(\frac{th^3 \alpha H}{1 - th^2 \alpha H} - \frac{th \alpha H}{1 - th^2 \alpha H} \right) = -\frac{B^2 \pi}{2} th \alpha H \neq 0. \quad (29)$$

Отметим также, что длина волны λ как расстояние между вершинами соседних гребней (или между соседними пучностями, которые находятся в одной фазе колебания) в обоих пространствах (x, z) и (ξ, η) определяется по формуле

$$\lambda = x \Big|_{\xi = \frac{2\pi}{\alpha}} = \frac{2\pi}{\alpha} - \frac{1}{2} B ch \alpha (\eta + H) \sin \left(\alpha \frac{2\pi}{\alpha} \right) = \frac{2\pi}{\alpha}. \quad (30)$$

Поскольку пространство (x, z) нормировано и в этом пространстве $\lambda = 2\pi, k \equiv 1$, из (30) и (6) следует

$$\alpha = k = 1, \quad \omega = \frac{1}{thH}. \quad (31)$$

Заметим, что для случая глубокой воды из (31) получаем $\omega = 1$, а для мелководья, когда $\frac{h}{\lambda} \sim 0(\varepsilon)$, будет $\omega \sim \frac{\lambda}{2\pi h}$.

Результаты исследований. Выражение для волнового профиля при произвольном значении глубины состоит из двух, линейной и квадратичной, составляющих относительно амплитуды.

Для оценки качества полученного решения по формулам (6), (20), (27) и (31) была рассчитана форма волнового профиля для различных соотношений длины волны и глубины $H = 2\pi \frac{h}{\lambda}$, амплитуды волны и дли-

ны волны $r = 2\pi \frac{r_0}{\lambda}$. Результаты экспериментального определения формы

волнового профиля взяты из работы [10]. Соответствующие этим данным волновые профили рассчитаны по предложенной приближенной теории, по теории Стокса пятого порядка и по кноидальной теории. На рис. 1 и 2 для примера приведены две реализации.

Выводы. Результаты расчетов по предложенной приближенной теории вполне удовлетворительно соответствуют экспериментальным данным. Волновые профили, рассчитанные по приближенной теории, по теории Стокса пятого порядка и по кноидальной теории, качественно совпадают; количественные различия между ними того же порядка, что приведены в работе [2] при сравнении результатов расчетов профилей волн по теории Стокса пятого и третьего порядков.

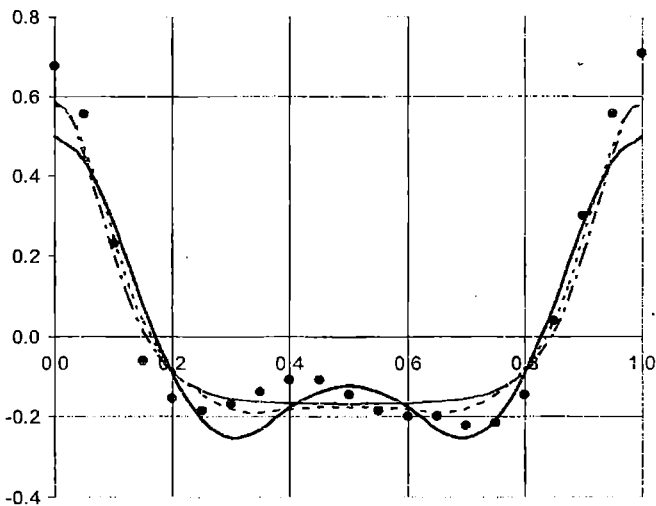


Рис. 1. Относительные ординаты профиля волны при относительной глубине $H = 2\pi h / \lambda = 0.446$ и относительной полувысоте $r = 2\pi r_g / \lambda = 0.12$

1 – расчет по (20); 2 – кноидальная теория; 3 – теория Стокса; 4 – эксперимент [10]; число Урселла $N_{URS} = 106.73$

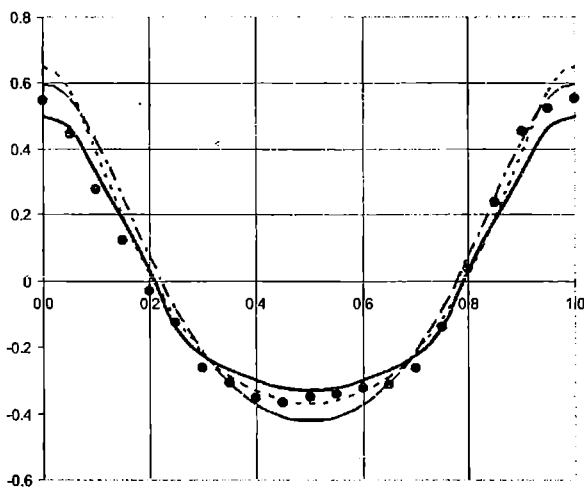


Рис. 2. Относительные ординаты профиля волны при относительной глубине $H = 2\pi h / \lambda = 0.873$ и относительной полувысоте $r = 2\pi r_g / \lambda = 0.162$

1 – расчет по (20); 2 – кноидальная теория; 3 – теория Стокса; 4 – эксперимент [10]; число Урселла $N_{URS} = 19.21$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ветер и волны в океанах и морях: Справочные данные.* – Л.: Транспорт, 1984. – 359 с.
2. Skjelbreia L., Hendrickson J. *Fifth order gravity wave theory // Proc. 7th Coastal Engineering Conference.* – The Hague, 1961. – P. 184-196.
3. Fenton J.D. *Nonlinear wave theories // The Sea, Vol.9: Ocean Engineering Science / B. Le Mehaute, D.M. Hanes, Eds.* – Wiley, New York, 1990. – 19 p.
4. Kinnas A.S. *Notes on fifth-order gravity wave theory // Fundamentals of offshore structures and design of fixed offshore platforms / OTRC/UT Austin, 13.04.2007.* – 9 p.
5. Лопатухин Л.И. *Ветровое волнение: Учебн. пособие.* – СПб.: ВВМ, 2012. – 165 с.
6. Fenton J.D. *The cnoidal theory of water waves // Developments In Offshore Engineering: Wave Phenomena And Offshore Topics / Herbich J.B., Editor.* – Gulf Publishing Company, 1998. – P. 55-100.
7. Карабут Е.А. *Высшие приближения теории кноидальных волн // ПМТФ.* – 2000. – Т.41. – № 1. – С. 92-104.
8. Федорова Е.Ю. *Приближенная гидродинамическая теория прогрессивных волн конечной амплитуды // Вісник ОНМУ.* – Одеса: Вид-во ОДМУ, 1998. – № 1. – С. 57-61.
9. Федорова Е.Ю. *Развитие методов решения задачи о прогрессивных волнах конечной амплитуды // Вісник ОНМУ.* – Одеса: Вид-во ОДМУ, 1998. – № 1. – С. 62-66.
10. Латто Д.Д., Иванова С.В., Каплун В.В., Мищенко С.С., Шестаков Ю.Н. *Кинематические характеристики бегущих волн // Известия Всесоюзного научно-исследовательского института по гидротехнике им. Б.Е. Веденеева.* – 1976. – Т. 112. – Л.: Энергия, 1976. – С. 51-57.

Стаття надійшла до редакції 28.12.2016

Рецензенти:

кандидат технічних наук, старший науковий співпрацівник
Морського Інженерного Бюро **О.Ю. Нільва**

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

УДК 621.181.2

А.Г. Данилян, О.Р. Парфёнова

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ГЛАВНОГО ДВИГАТЕЛЯ MAN B&W 5L90MC
НА ТРЕНАЖЕРЕ KONGSBERG NEPTUNE**

В статье рассматривается новое направление подготовки и переподготовки морских специалистов с использованием тренажера Engine Room MAN B&W – 5L90MC VLCC Version – MC90 – V Kongsberg, где моделируются нештатные ситуации в техэксплуатации главных двигателей, разрешение которых позволяет по новому понимать задачи безопасной эксплуатации силовой установки и судна в целом. В материалах статьи используется накопленный опыт эксплуатации и управления современных малооборотных крещкопфных двигателей. Сделана попытка вскрыть недостатки в процессе обучения и переподготовки специалистов механической специальности.

Ключевые слова: техническая эксплуатация, нештатные ситуации, управление главным двигателем, контроль параметров, режимы работы двигателя.

У статті розглядається новий напрям підготовки та перепідготовки морських фахівців з використанням тренажера Engine Room MAN B & W – 5L90MC VLCC Version – MC90 – V Kongsberg, де моделюються нештатні ситуації в техексплуатації головних двигунів, вирішення яких дозволяє по новому розуміти завдання безпечної експлуатації сигової установки і судна в цілому. У матеріалах статті використовується накопичений досвід експлуатації і управління сучасних малооборотних крещкопфних двигунів. Зроблено спробу розкрити недоліки в процесі навчання і перепідготовки фахівців механічної спеціальності.

Ключові слова: технічна експлуатація, позаштатні ситуації, керування головним двигуном, контроль параметрів, режими роботи двигуна.

The article deals with a new direction of training and retraining of naval specialists using the simulator Engine Room MAN B & W – 5L90MC VLCC Version – MC90 – V Kongsberg, where emergency situations of main engines technical operation are simulated. The solution of which provides a new understanding of the power plant and vessel safe operation. The materials of the article use the experience of operation and management of modern low-speed crosshead engines. An attempt is made to reveal deficiencies in training and retraining of engineering specialists.

Keywords: technical operation, emergency situations, the main engine controls, observance of parameters, types of technical operations of the engine.

Введение. Формирование знаний при изучении таких предметов, как: Судовые энергетические установки, Судовые двигатели внутреннего сгорания и их системы в последнее время изучаются во многих странах с применением современных многофункциональных тренажеров.

Ведущие компании: Kongsberg, Transas, Unitest предоставили на рынок морских высших школ, международных судоходных компаний подотчетных Международной морской организации ИМО в вопросах дипломирования и переподготовки морских специалистов высокоинтеллектуальные продукты – тренажеры. Которые способны с высокой степенью реальности эксплуатации механизмов и систем, воспроизвести их рабочие условия и различные параметры состояния.

Постановка проблемы. Аварийность Мирового морского флота растет из года в год, а причины, как правило, скрываются за расхожей формулировкой: «Человеческий фактор». Авторами статьи проведен анализ трудоустройства выпускников-бакалавров, специальности судовой механик. Под понятием трудоустройства нужно понимать комплекс проблем, возникающих при трудоустройстве курсанта-кадета на плав-практику, и зачислении в штат дипломированного механика. Прохождение процедуры трудоустройства, предполагает обязательную проверку знаний на компетентность в судоходных компаниях, где выявляются серьезные пробелы профессиональной подготовки.

Здесь, как в кривом зеркале отображаются наши недостатки преподавания, где за академическим объемом основного предмета не преподаются в должной мере современные направления технической эксплуатации главных энергетических установок, судовых технических средств СТС. Отсутствие современного технического обеспечения в изучении профилирующих предметов, специальной подготовки курсанта в условиях отказов механизмов, решения ситуативных задач и др. может стать роковой причиной в разрешении любой нештатной ситуации в море.

Цель статьи. Данная работа, позволяет найти свое практическое применение в подготовке бакалавров по направлению 6.070104 – «Морской и речной транспорт», квалификации «бакалавр судовой энергетики», используя научный подход процессов моделирования работы судовых силовых установок на примере главного судового двигателя MAN B&W 5L90 MC тренажера Kongsberg Neptune.

Изложение основного материала. Современные тренажеры, используемые в подготовке морских специалистов, – дорогостоящий интеллектуальный продукт. Неслучайно, одна из последних разработок Kongsberg Engine room дает право после прохождения тренинга, засчитывать плавательный ценз до шести месяцев судовому механику. Это говорит о совершенстве продукта тренинга и максимальной его приближенности к реальной эксплуатации главной энергетической установки и СТС. Этот тренажер позволяет создавать проблемные ситуации в работе механика, находить наиболее экономичные и безопасные режимы работы. Вместе с тем в основном все существующие программы тренинга мало

уделяют внимания моделированию процесса изменения режима работы, создания ситуационных событий в технической эксплуатации судовых двигателей внутреннего сгорания СДВС и СТС. Авторы данной статьи, считают этот вопрос самым актуальным в подготовке и переподготовке специалистов Морехозяйственного комплекса Украины и Мирового морского флота. С этой целью специально был выбран раздел тренажера, который способен контролировать все основные процессы работы двигателя и предупреждать обо всех неполадках.

Система Авточиф-4 обслуживает современные главные двигатели с программой дистанционного автоматизированного управления ДАУ, осуществляет полный контроль за главной энергетической установкой и своевременное оповещение обо всех заданных параметрах и их изменениях. Авточиф-4 способен информировать вахтенного механика обо всех отказах, показывая на мнемосхеме конкретную позицию фрагмента свершившегося события.

На рисунке показан дисплей Авточиф-4 системы контроля главного двигателя, который отображает следующие события и параметры:

- положение команды (на мостике или в машинном отделении);
- команда останова;
- вперед, если направление выбирается на панели управления;
- назад, если направление выбирается на панели управления;
- старт блокируется, если одно или несколько из последующих

действий активируются.

Сигналы оповещения:

- старт не произошел после трех попыток запустить двигатель – продолжает быть без движения;
- давление воздуха слишком низкое (настройка по умолчанию 12 бар);
- давление воздуха управления слишком низкое (значение по умолчанию 2 бара);
- давление воздуха безопасности слишком низкое (значение по умолчанию 2,5 бара);
- реверс отказал;
- начальный период подачи воздуха слишком длительный;
- отказ реверса двигателя в момент команды торможения при её активации;
- распределительный механизм в положении занято (это приведет к блокированию реверса – кулачковые шайбы распредвала не будут переведены в нужное положение вращения коленвала согласно с командой).

Очень важной позицией в системе Авточиф-4 является положение – *above reversing level* – возможный уровень реверса. Когда при работающем двигателе подается команда вперед или назад, то воздух торможения не будет подаваться до понижения оборотов двигателя уставки реверсивного уровня, который установлен на этом двигателе 26 об./мин.

Когда обороты двигателя находятся на отметке 29 об./мин., воздух для аварийной остановки будет перекрыт и аварийная остановка двигателя не произойдет. Это говорит о том, что малейшая разрегулировка механизма контроля оборотов, подаст ложный сигнал и контрвоздух не поступит. Лимит подачи воздуха для торможения двигателя составляет 8 сек. Если в течение этого времени двигатель не будет остановлен воздухом торможения, то на панели аварийной станции выйдет сигнал «Отказ тормозного воздуха», который будет активирован в случае неостановки двигателя.

Авторами данной статьи не случайно предлагается провести моделирование процесса аварийного торможения главного двигателя, этот сегмент знаний касается специалистов несущих ходовую вахту – штурмана и механика. В этой связи было бы целесообразно в каждом высшем морском учебном заведении подготовить программу по данной тематике, где совместные занятия проводились бы с использованием многофункционального тренажера с детальным рассмотрением всех фрагментов процесса аварийного торможения курсантами двух основных специальностей.

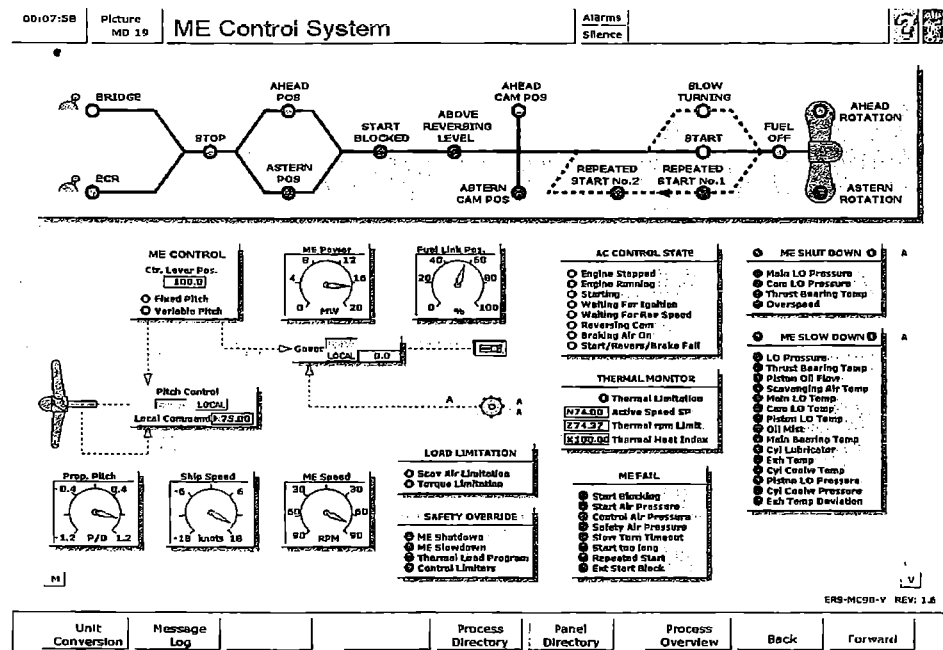


Рис. Автоцифр-4 – система контроля главного двигателя

Совершенно недопустимо проводить такие занятия лекционно с присущим обычно академизмом, без глубокого знания существа вопроса. В проведении занятий должны участвовать высокопрофессиональные специалисты, имеющие опыт разрешения подобных ситуаций. Описанный выше порядок аварийного торможения в автоматизированном режи-

ме управления главным двигателем, на практике, как правило не используется в ситуации грозящей столкновением с судном, или навалом на береговые сооружения, препятствия. Используя накопленный опыт и хорошую морскую практику, штурман должен мгновенно перейти на ручное управление главным двигателем, нажав для этого аварийную кнопку (crash button), после чего ручка телеграфа переводится в положение «Стоп» с выдержкой времени 5-6 секунд, и с падением оборотов на 50 % ниже первоначальных. Далее в ручном режиме производится остановка коленвала воздухом торможения и запуск двигателя на полный ход назад. Вахтенный механик после экстренного реверса двигателя обязан обеспечить безаварийную работу главной энергетической установки и её систем. С этой целью усиливается контроль за главным двигателем и при необходимости обеспечивается дополнительное охлаждение и смазка двигателя. В момент изменения вращения при полной подаче топлива, двигатель испытывает перегрузки в районе 110 % своей мощности. Моделирование данного процесса с использованием системы Авточиф-4 позволяет нам отслеживать перегрузку двигателя по приборам: индикатора мощности главного двигателя (ME POWER), позиции подачи топлива в процентах (FUEL LINK POSITION), панели предела нагрузки двигателя (LOAD LIMITATION), где индицируются позиции: – предел наддувочного воздуха (Scavenge Air Limitation), предельный момент на валу (Torque Limitation). Обязательно необходимо постоянно снимать показания температуры выпускных газов каждого цилиндра, максимальное давление сгорания P_z , среднее индикаторное давление за цикл P_i с использованием электронного дистанционного привода РМІ, который является штатным прибором для данного двигателя, также может использоваться Autronica NK-5.

Из практики известны случаи, когда вахтенный помощник капитана пренебрегает предложенной нами процедурой аварийного реверса двигателя в ручном режиме. Это происходит по причине незнания самой процедуры, или же под воздействием страха возможной аварии будет не выполнена задержка времени для снижения оборотов до 50 % от существующих. Последствия таких действий могут оказаться фатальными, приведшие к аварии главного двигателя, или в лучшем случае экстренный реверс аварийным воздухом не будет выполнен. Известны примеры, когда в подобной ситуации нарушалось уплотнение цилиндрических крышек (происходил подрыв крышки двигателя за счет резкого импульсного повышения давления в цилиндре двигателя), были случаи разрыва соединений на пусковых клапанах. Вахтенный штурман обязан определить выбег судна после экстренного торможения, как правило, он может составить 5-8 корпусов – это зависит от массы судна, его скорости и обводов корпуса, вахтенный механик должен выполнить все предписания завода-строителя, регламентирующие перегрузку двигателя и правила технической эксплуатации ПТЭ судовладельца [1].

Программа работы двигателя в автоматизированном режиме в диапазоне оборотов 40-42 об./мин. произведет резкое их изменение во избежание разрушительной вибрации – это участок критических оборотов данного двигателя. Умышленное удерживание двигателя в данной позиции оборотов может привести к оповещению об опасной вибрации на дисплее аварийной станции с последующим сбросом оборотов в положение «ME Slowdown». Гораздо хуже, когда мы сталкиваемся с нарастающей вибрацией на любом режиме работы двигателя, такая ситуация требует достаточного опыта и тщательного исследования главного двигателя. Попробуем создать ситуацию на нашем тренажере, похожую на обозначенную выше. Последовательность поиска причины заключается в следующем:

- производятся пуски-реверсы двигателя на предмет определения характерных стуков;
- после остановки двигателя проверяется набор фундаментной рамы на предмет отрыва набора, его сварных швов;
- методом обстукивания проверяется каждый болт крепления фундаментной рамы двигателя;
- проверяется в картере двигателя крепление противовесов коленвала, мотылевых подшипников;
- проверяются в подпоршневом пространстве крепления штока поршня с крейцкопфом. Очень частым явлением нарастающей вибрации, является поломка демфера главного двигателя, который обследуется на предмет утечки силикона из его корпуса. Отдельно, необходимо прослушать демфер на работающем двигателе, имея перед этим его сигнал на аварийной станции – повышенной вибрации [2].

Рассматриваемый нами вопрос повышенной вибрации является чрезвычайно важным в технической эксплуатации СДВС и неслучайно в новых моделях двигателей – Sulzer RT-Flex Engines – установлена одна из последних версий системы контроля двигателя – CONGSBERG Auto Chief C20, способная конкретно указывать место аварийного сигнала, поломки механизма.

Современные мощные крейцкопфные двигатели оборудованы статическими системами демпфирования вредной разрушающей вибрации в виде горизонтальных колонн с азотным наполнением, которые жестко закреплены к набору фундамента и гасящие распространяющуюся вибрацию. Несмотря на современные методы борьбы с вибрацией, авторы статьи обладают достоверными данными, поступающими с судов, где на высоконагруженных крейцкопфных двигателях последних моделей происходят очень часто разрывы в виде трещин в районе крепления фундаментной рамы двигателя. Эти трещины появляются между brackets фундаментной рамы в сторону отверстий крепления фундамента двигателя к набору судна.

Рассматривая далее панель ME SLOW DOWN (Авточиф-4), нам необходимо более детально остановиться на всех позициях аварийного снижения оборотов главного двигателя, так как весь перечень снижения оборотов программы контроля работы главного двигателя наиболее типичен в его технической эксплуатации и может быть полезен для изучения тренинга [2].

Oil Mist – высокая концентрация взрывоопасных газов в картере двигателя, которая регистрируется детектором масляного тумана, двигатель в это время сбрасывает обороты – ME SLOW DOWN. Согласно ПТЭ нормативных документов завода-строителя двигателя, сигнал квитируется и выясняются причины срабатывания устройства. В случае повторения сигнала, двигатель останавливается и проводится контроль чувствительных элементов детектора масляного тумана, при необходимости проверяются детали кривошипно-шатунного механизма КШМ, через подпоршневое пространство проверяется уплотнение штока поршня на предмет прорыва выпускных газов, твердых отложений продуктов сгорания. Явной причиной концентрации взрывоопасных газов может послужить пожар в подпоршневом пространстве – возгорание отработанного цилиндрического масла, которое периодически убирается вручную при осмотрах.

Были случаи, когда взрыв газов в картере, приводил к нарушениям работы двигателя – подрывал фундаментные болты крепления, нарушал центровку главного двигателя и др. Для предотвращения последствий взрыва в картере на ряде картерных лючков (40 % от всего количества), установлены предохранительные клапана обеспечивающие выход газов из картера двигателя наружу. В период предъявления двигателя надзорным органам, не реже 1 раза в пять лет, производят регулировку клапанов картерных лючков на подрыв, давлением 0,02-0,04 мПа.

LO Pressure (limit 1,2 бар.) – давление циркуляционной смазки главного двигателя, снижение которого на рабочих режимах двигателя может привести к его аварии (заклиниванию деталей ЦПГ и КШМ). Основные причины снижения давления в системе циркуляционной смазки – это попадание воды в масло, что приводит к резкому загрязнению масляных фильтров и увеличению перепада давления до и после фильтра. Заклинивание редукционного клапана на масляном насосе сразу же снизит давление в системе. Нарушение герметичности масляной системы в виде обрыва трубопровода до двигателя, так и в самом двигателе (подача масла к рамовым подшипникам, к охлаждению донышек поршней и др.). Обрыв масляного трубопровода возможно определить визуально под давлением на неработающем двигателе, осмотрев подвод масла от масляного насоса до входа трубопровода в двигатель. Такой же осмотр делается в картере главного двигателя и в подпоршневом пространстве каждого цилиндра на предмет утечки масла.

Trust Bearing Temp (limit -75°C) – температура верхнего предела упорного подшипника. Увеличение температуры в упорном подшипнике

может привести к плавлению антифрикционного слоя на сегментах упорных скоб, которые на этом двигателе залиты баббитом Б-88. В практике авария упорного подшипника явление довольно таки редкое, хотя известны случаи, когда в экстремальных условиях работы судна на режиме аварийного хода был превышен предел аварийной нагрузки на двигатель, что привело к плавлению баббита на сегментах. Старший механик и капитан в ситуации, когда в условиях жесткого шторма, судно нужно удержать против волны (30° от ДП), а время форсирования превышает один час, они должны принять единственно правильное согласованное решение, чтобы сохранить судно, его экипаж и главный двигатель. Здесь чрезвычайно важно в условиях тренинга провести моделирование ситуации совместно с курсантами судоводительской специальности на двух тренажерах (управления судном и Engine Room), где можно перейти в дрейф с удержанием судна против волны и снижением нагрузки на двигатель, что обеспечит его безопасную работу.

Позиция Piston Cooling Oil Flow характеризует поток проходящего масла для охлаждения доньшка поршней, снижение которого может произойти как от понижения давления охлаждающего масла, так и по причине нарушения проходного сечения штока поршня, которое может произойти при появлении глобул (плотных сгустков), причиной появления глобул может стать попадание влаги в масло, его перегрев, что нарушит теплосъем с поверхности доньшка поршня, который приведет в дальнейшем к его прогоранию.

Scavenging air Temp. – температура наддувочного воздуха определена для этого двигателя пределом в 75°C , но такая предельная температура снижает качество воздушного заряда и приводит к снижению мощности двигателя и повышению термонагрузки на ЦПГ. В практике эксплуатации двигателя, мы стараемся удержать температуру в пределах нормы, используя количество подаваемой воды на воздухоохладители. Надо признать, что оптимальный режим не всегда удается удержать, охлаждаемый контур (LT – низкотемпературный) воздушных кулеров, зависит от температуры забортной воды. В Красном море, Персидском заливе вода за бортом достигает до 40°C . В нашей практике были случаи, когда охлаждение воздуха в воздушных холодильниках переводилось на забортную воду ради удержания температурного режима двигателя в пределах нормы. Последствия такой работы, приводят к большим отложениям в теплообменном аппарате углекислых солей кальция и магния: CaCO_3 , MgCO_3 , солей NaCl , сульфатных и силикатных отложений: CaSO_4 , SiO_2 . Удаление этих отложений необходимо произвести при первой же возможности с использованием реагентов и химвеществ, рекомендованных судовладельцем и заводом-строителем.

Main LO Temp (limit 60°C) – температура циркуляционного масла двигателя для этого типа главных энергетических установок устанавливается ниже, чем у некоторых четырехтактных двигателей. Это обуславливается необходимостью использовать циркуляционное масло для охлаж-

дения доньшек поршней. Повышение температуры выше 70°C для минеральных масел приводит к лакообразованию на поверхности деталей двигателя, которое может привести к заклиниванию отдельных узлов и сопрягающихся элементов.

Cam LO Temp, Piston LO Temp – температура масла распредвала, температура масла охлаждения поршней, лимитирована 70°C , как было сказано выше, во избежание лакообразования, ухудшения техсостояния уплотнений и увеличения температуры доньшка поршней.

Main Bearing Temp (limit 80°C) – предельная температура рамового подшипника. В этой серии двигателей значение верхнего предела температуры масла значительно повышено за счет применения гальваноподшипников, тем не менее работа на повышенных температурах масла, снижает вязкость и ухудшает работу масляного клина, повышая износ антифрикционного слоя.

Cyl Lubricator (low flow) – низкая подача масла лубрикатором в цилиндр. Гидростанция лубрикаторного масла создает давление на этих двигателях 45 бар., но количество масла определяется программой 0,8-1,2 г/кВт*ч. Снижение количества подачи масла в цилиндр может привести к интенсивному износу поршневых колец и цилиндровой втулки. В худшем случае могут произойти задиры на зеркале втулки, вплоть до заклинивания поршня в цилиндре двигателя.

Exhaust Temp (limit 460°C) – предельная температура выпускных газов. Данный показатель является основным косвенным показателем работы двигателя, по нему можно судить о его нагрузке. Работа на предельных температурах длительное время приведет к снижению моторесурса двигателя, опасному термонапряжению деталей ЦПГ и КШМ.

Cyl Coolw Temp (limit 96°C) – предельная температура внутреннего контура охлаждения цилиндров двигателя. Предыдущие модели этих двигателей этот показатель имели не выше 90°C . Увеличение температуры сверх установленного предела внутреннего контура может привести к аварийной ситуации, вплоть до заклинивания ЦПГ.

Piston LO Pressure (limit 0,5 бар.), Cyl Coolw Pressure (limit 0,5 бар.) – нижний предел давления циркуляционного масла для охлаждения доньшка поршней и минимальное давление внутреннего контура охлаждения цилиндрических втулок. В первом и во втором случае снижение давления приведет к повышению температуры охлаждающих сред, что отрицательно скажется на техническом состоянии двигателя и может привести к серьезной его аварии.

Exhaust Temp Deviation (limit 45°C) – разница по цилиндрам температуры выпускных газов. При плохой регулировке цикловой подачи топлива, нарушении угла опережения подачи топлива, ухудшении техсостояния топливной аппаратуры – все это приводит к большому разбросу температуры. Последствия такого явления выражаются в неустойчивой работе двигателя, увеличивается вибрация, газовая турбина наддува ГТН входит в режим помпажа [3].

Выводы. Рассматриваемые вопросы в разрезе данной статьи, впервые открывают возможности подготовки курсантов и переподготовки специалистов машинной команды на базе накопленного опыта технической эксплуатации, моделирования нештатных ситуаций, способных привести к аварии главной установки на штатном тренажере. Пути выхода из аварийных ситуаций даны на основе хорошей практики эксплуатации главного двигателя и систем его управления. Статья вскрывает имеющиеся недостатки в подготовке морских специалистов, как в системе высших учебных заведений, так и при переподготовке действующих кадров. Вместе с тем, объем данной статьи не позволяет осветить весь необходимый материал для полной подготовки специалистов. Здесь напрашивается вопрос создания цельной программы для морских высших учебных заведений и центров переподготовки.

Авторами статьи сделана попытка научного подхода в методологии совместного обучения штурманов и механиков на конкретных действиях локализации нештатных ситуаций, способных привести к фатальным последствиям. Статья раскрывает конкретику разрушающей вибрации на последних моделях крейцкопфных двигателей, что даст возможность в дальнейшем рассмотреть эту проблему в последующих статьях на базе накопленного опыта. Она дает возможность по-новому взглянуть на отдельные аспекты технической эксплуатации главного двигателя.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Publisher Private Person. Marine Engineering Knowledge for Marine Engineers. Production Seatracker, 2009. – P.1054*
2. *Engine Room Simulator ERS – L11 MAN B&W – 5L90MC VLCC Version MC90 – V Machinery and Operation Part 2. Kongsberg 2009. – P.32.*
3. *Данилян А.Г., Чимшир В.И. Совершенствование системы технического диагностирования малооборотных судовых дизелей // Молодой ученый. – № 2 (82). – Казань. – 2015. – С.138-142.*

Стаття надійшла до редакції 25.10.2016

Рецензенты:

академік Академії наук суднобудування України, доктор технічних наук, професор кафедри Суднових енергетичних установок і систем Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» **П.С. Суворов**

кандидат технічних наук, директор Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» **В.І. Чимшир**

УДК 621.181.2.

А.Г. Данилян, В.И. Чимшир, И.В. Власов, А.И. Найденов

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГЛУБОКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Проведено исследование современной утилизации тепла энергетических установок морских судов Мирового морского флота. Выявлены приоритетные направления получения дополнительной электроэнергии за счет утилизации тепла главной энергетической установки судна. Используя современные направления достижения науки в возможном применении низкотемпературного тепла в гидропаровых турбинах ГПТ профессора В.А. Зысина, сделаны конкретные предложения применительно к морскому флоту. Определены дальнейшие шаги совершенствования ГПТ с целью более глубокой утилизации тепла энергетических установок судна. Предложено впервые, использовать тепло внутреннего контура судового главного двигателя в усовершенствованных с помощью нанотехнологий ГПТ.

Ключевые слова: морской флот, утилизация тепла отработанных газов, главная энергетическая установка, вспомогательный паротурбогенератор, вспомогательный газотурбогенератор отходящих газов, гидропаровая турбина, низкотемпературное тепло, утилькотел.

Проведено дослідження сучасної утилізації тепла енергетичних установок морських суден світового морського флоту. Виявлено пріоритетні напрямки отримання додаткової електроенергії за рахунок утилізації тепла головної енергетичної установки судна. Використовуючи сучасні напрямки досягнення науки в можливому використанні низькотемпературного тепла в гідропарових турбінах ГПТ професора В.А. Зисіна, зроблені конкретні пропозиції стосовно морського флоту. Визначено подальші кроки вдосконалення ГПТ з метою більш глибокої утилізації тепла енергетичних установок судна. Запропоновано вперше, використовувати тепло внутрішнього контуру судового головного двигуна в удосконалених за допомогою нанотехнологій ГПТ.

Ключові слова: морський флот, утилізація тепла відпрацьованих газів, головна енергетична установка, допоміжний паротурбо-генератор, допоміжний газотурбогенератор газів, що відходять, гідропарова турбіна, низькотемпературне тепло, утилькотел.

The study of modern heat recovery power plants of ships of the merchant marine of the World. Identified priority areas for more electricity from waste heat recovery Main propulsion vessel. Using modern scientific achievements in the areas of possible use of low temperature heat in hydrosteam turbines HST Professor V.A. Zysin, made specific proposals in relation to the

merchant marine of the world. The further steps with a view to improving the deeper heat recovery power plants vessel. It is proposed for the first time, use the heat of the inner loop of the ship main engine for improved using nanotechnology HST.

Keywords: *merchant marine fleet, utilization of waste heat gases, the main power plant, the auxiliary steam turbine generator, an auxiliary gas turbine exhaust gas, hydro-steam turbine, low-temperature heat, utilization boiler.*

Постановка проблемы. Бурное развитие Мирового морского флота, предопределило его качественное изменение, увеличив его общую энергоемкость, повысило мощности главной энергетической установки, судовой электростанции. Параметры судовых двигателей внутреннего сгорания СДВС постоянно повышаются, что ведет к увеличению параметров утилизированного тепла. Вместе с тем, объемы низкотемпературного тепла (бросового тепла), тоже увеличиваются, предоставляя определенные возможности в его использовании. В передовых научных разработках даны конкретные расчеты использования утилизированного тепла, которое может составить до 10 % мощности главной энергетической установки.

• Сам процесс утилизации тепла на современных судах в последнее время получил свое развитие в использовании энергии отработанных газов главного двигателя в утилькотлах для работы вспомогательного паротурбогенератора, и на прямую после турбины наддува двигателя он утилизируется в турбогенераторе отработанных газов. Цель изыскания в данной работе, направлена на использование низкотемпературного тепла в ГПТ на морских судах.

Анализ последних исследований и публикаций. Проанализированы научные публикации отечественных и зарубежных авторов, включая последние разработки и тепловые схемы мировых лидеров производящих судовое энергетическое оборудование. За основу взято высокопроизводительное и совершенное оборудование Mitsubishi Heavy Industries, Ltd (МНИ) – лидера компаундных схем утилизации тепла СДВС. – Журнал № 1, март 2011.

Существует достаточно большое количество схем и технологий глубокой утилизации тепла судовых дизелей на Мировом морском флоте.

Развитие современного дизелестроения идет по пути увеличения мощностей главных судовых двигателей, а это в большей степени повышает их рабочие показатели и открывает новые возможности использования самых современных научных разработок в тепловых схемах морских судов.

Максимальное использование тепла на судах, обеспечивают последние технические разработки мировых лидеров производящих судовое энергетическое оборудование, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd (МНИ), лидирует в создании компаундных схем утилизации тепла СДВС.

Будущее в утилизации тепла, сегодня предопределено новыми научными разработками ООО «Турбокон» Калужский турбинный завод, экспериментальное исследование 2014 г., исследованиями академика А.Ф. Булата «Энергетическая эффективность газопоршневой установки с гидропаровой турбиной», ж-л «Компрессорное и энергетическое машиностроение» № 1 от 23 марта 2011 г. Киев в использовании низкотемпературного тепла в гидропаровых турбинах ГПТ профессора В.А. Зысина. Эти установки могут найти свое практическое применение на крупных тепловых станциях, шахтных энергетических блоках. Основные направления методики использования утилизационного тепла нашли свое отображение в диссертации на соискание ученой степени к. т. н. В.Е. Макарьева «Методические основы повышения эффективности судовых энергетических установок СЭУ путем использования утилизационных турбин». «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова» 2015 г.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Традиционное использование утилизационного тепла не позволяют использовать это тепло в виде пароводяной смеси на линии: потребители – конденсатор парового котла. В настоящее время это тепло не используется в судовой энергетике по причине отсутствия тепловой машины, которая могла бы использовать это низкотемпературное тепло. Любая паровая турбина требует более высоких рабочих параметров, по мнению авторов статьи, ГПТ будут с успехом применяться на морском флоте, используя бросовые потоки тепла отходящих газов СДВС. Дальнейшее совершенствование процесса глубокого использования низкотемпературного тепла в ГПТ постоянно находится в поле внимания ученых ведущих мировых научных центров, что позволит в дальнейшем использовать полученные результаты на Мировом морском флоте.

Обогрев топливных танков хранения тяжелого топлива до 45 °С, требует большего количества тепловой энергии, которая вырабатывается за счет отходящих газов главного двигателя и используется в утилизационном котле. Зачастую этого тепла недостает для прогрева тяжелого топлива в танках и встает необходимость, использовать вспомогательный паровой котел, дополнительно затрачивая для этой цели дизтопливо. Это связано с стоянками судна и большими теплотерями при плавании в различных климатических широтах. Более 70 % выработанного тепла на судне, затрачивается на обогрев топливных танков и топливopодготовку СДВС и СТС.

В последнее время на рынке судовых энергетических машин и систем, предлагается различная современная продукция, позволяющая производить глубокую утилизацию тепла в судовых условиях, но ни одна из них не способна использовать низкотемпературное тепло для производства дополнительной электроэнергии с использованием пароводяной смеси отработанного пара. Выработка дополнительной электроэнергии на судне является актуальным вопросом в получении сверхприбыли при

перевозке скоропортящихся грузов в рефконтейнерах, специализированных судах в газозазах при перевозке сжиженного газа и др. Как известно из практики: грузовладелец, чартер в погоне за финансовым результатом, устанавливает на палубе судна временные дизельгенераторы, обеспечивающие электроэнергией дополнительную загрузку судна высокофрахтовым грузом.

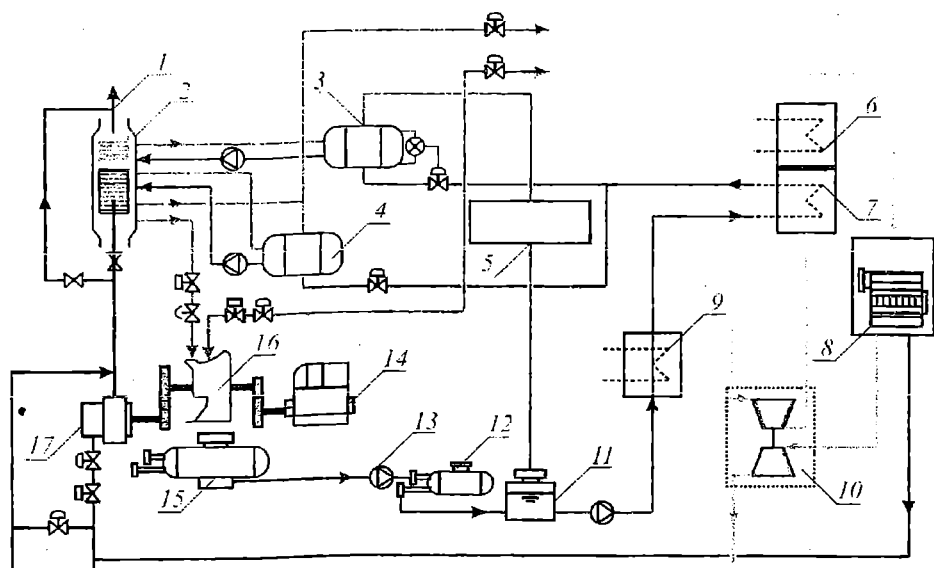


Рис. 1. Схема компаундной утилизации тепла СДВС
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd (МНН):

- 1 – отработавшие газы; 2 – утилизационный котел; 3 – LP Drum;
- 4 – HP Drum; 5 – пар для судовых нужд; 6 – охладитель наддувочного воздуха; 7 – водяной холодильник; 8 – главный двигатель;
- 9 – охлаждающая жидкость; 10 – турбокомпрессор;
- 11 – насос подачи воды; 13 – насос конденсатора; 14 – генератор;
- 15 – конденсатор; 16 – паровая турбина; 17 – турбина ОГ

Компаундные схемы утилизации тепла СДВС более громоздкие и трудоемкие [1] по своему исполнению, а значит и дорогостоящие при строительстве судов. Использование их на морском флоте оправдано более глубокой утилизацией тепла и повышением мощности судовых электростанций. Сказанное, наглядно подтверждается графиком мощности компаундной установки (ПТ + ТОГ), и установки с обычным отбором тепла в виде произведенного пара для вспомогательной паровой турбины (ПТ).

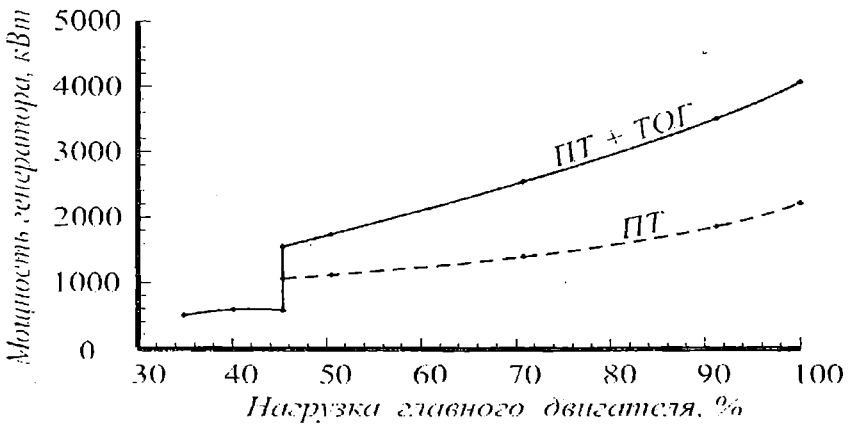


Рис. 2. Графік залежностей навантаження головного двигача від виробуваної потужності в компаундній установці (ПТ + ТОГ) і паровій турбіні (ПТ)

Как видно из графика (см. рис. 2), компаундная установка в два раза выше по мощности и ее кривая практически эквидистантна кривой (ПТ) начиная с 50 % нагрузки двигателя, удваивает мощность на каждом последующем режиме нагрузки. Что очень существенно для эконом режимов работы судна, не секрет – сегодня с целью экономии топлива, судовладелец, или чартер, планирует рейсовое задание с ограничением мощности до 50 %. Несмотря на достигнутые результаты в компаундных установках утилизационного тепла современных судов, мы подошли к пределу возможностей дальнейшего совершенствования этих установок [1].

Цель статьи. Авторами данной статьи предлагается использование более глубокой утилизации тепла, тепло которое на судах не используется, оно отработывается в судовых потребителях и возвращается в конденсатор парового котла с температурой 130 °-90 ° С (температура возвратной пароводяной смеси зависит от района плавания судна). В качестве энергетической установки для использования низкотемпературного тепла, более всего подходит гидропаровая турбина ПТТ В.А. Зысина.

Впервые в статье раскрыты собственные предложения авторов, которые позволят значительно увеличить утилизацию низкотемпературного тепла и повысить эффективность работы судовой ГПП. Эти предложения явились результатом длительной практической работы и научного мышления в области эффекта изменения угла опережения с снижением нагрузки на высокомоментных крейцкопфных двигателях (MAN B&W MC-C) оснащенных системой Variable Injection Timing VIT. Применения оригинального решения в подогреве тяжелого топлива в танках хранения

топлива с снижением затрат тепла на подогрев, использование тепла внутреннего контура СДВС.

Изложение основного материала. Гидропаровая турбина ГПТ В.А. Зысина может стать техническим прорывом в утилизации низкотемпературного тепла на морском флоте, которое считалось бросовым и никогда не использовалось в судовой энергетике. На рисунке 3 показана схема работы ГПТ с электрогенератором и системой рабочей среды и конденсата. Помимо получения дополнительной электроэнергии, бойлер-конденсатор может успешно использоваться для подогрева воды на судовые хозяйственные нужды.

Конструкция ГПТ (см. рисунок 3) напоминает сегнерово колесо и мало чем похоже на паровую турбину. Горячая вода с параметрами 2,5-3 бара и температурой 130 °-80 °С входит в полый вал ГПТ и далее по каналам колеса истекает из сопел, создавая вращающий момент, приводя во вращение электрогенератор. В ходовом режиме судна утилизация тепла от отходящих газов главного двигателя позволяет удерживать параметры утилькотла для устойчивой работы ГПТ, используя горячую воду обратной системы котельной воды.

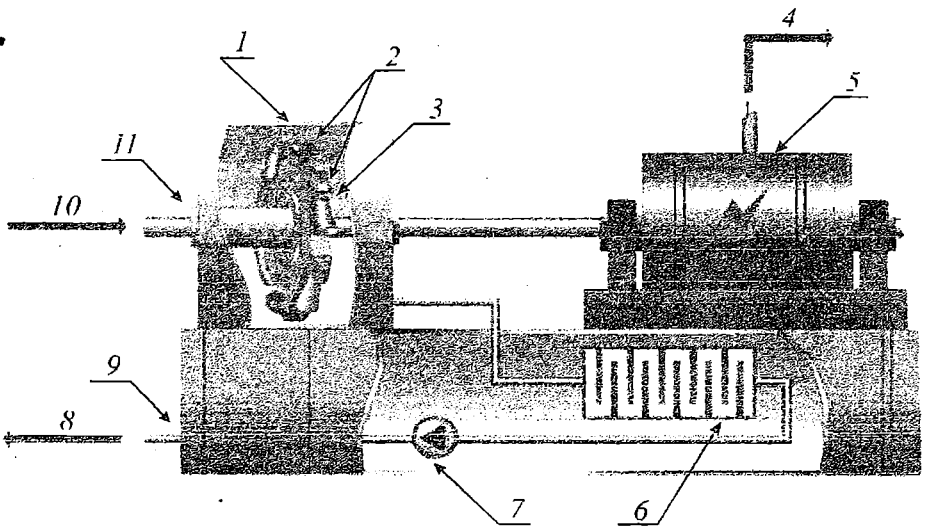


Рис. 3. Модель ГПТ В.А. Зысина для выработки электроэнергии от низкотемпературного тепла:

- 1 – гидропаровая турбина; 2 – сопло Лавалья; 3 – объемное вскипание создает пароводяную струю, вращающую ротор генератора;
- 4 – электричество; 5 – электрогенератор; 6 – бойлер-конденсатор;
- 7 – конденсаторный насос; 8 – в сеть; 9 – отработанный пар конденсируется и возвращается в сеть; 10 – горячая вода;
- 11 – горячая вода через каналы на роторе подается в кожух с низким давлением

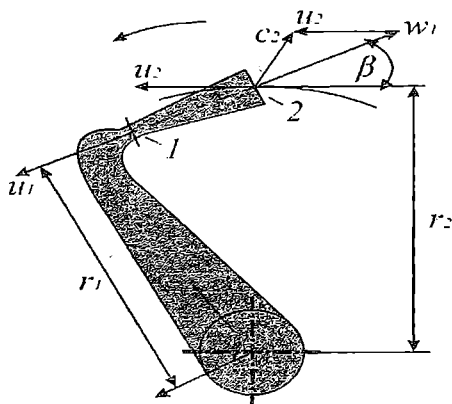


Рис. 4. Разложение сил теплоносителя в сопловом аппарате ГПТ

На рисунке 4 теплоноситель, входящий в сопловой аппарат, разлагается на вектора потока жидкости и диска ротора, где C_2 – вектор абсолютной скорости потока; U_2 – вектор окружной скорости потока; W_1 – вектор относительной скорости потока; U_1 – вектор окружной скорости диска ротора. Как было сказано выше, рабочий поток жидкости, входя в канал вала ротора, переходит в сопла диска, где, проходя с минимальным сопротивлением кривизну сопла, направляется к его оконечности [2]. Скорость потока рабочей жидкости значительно увеличивается в сужающейся части сопла Лаваля, что уже с переходом в расширяющуюся его часть дает возможность рабочей жидкости превратиться в пар, создавая все условия для получения вращающегося момента вала ротора.

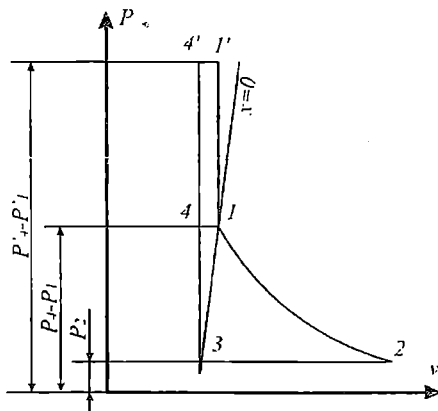


Рис. 5. Термодинамический цикл турбины ГПТ

Вся термодинамика процесса показана на рисунке 5. Участок 1-1' отображает сужающую часть сопла Лаваля; 1-2 – движение рабочего потока в расширяющейся части сопла, где происходит интенсивное парообразование; 2-3 – участок конденсации пара; 3-4 – повышение давления

воды и ее подогрев перед ротором турбины; 4-4' повышение давления и перегрев воды на участке ротор турбины-сопло Лавалья за счет центробежных сил при вращении ротора турбины.

Создателем турбины профессором В.А. Зысиным сделан важнейший вывод: – вся полезная работа совершается в ГПТ за счет внешней энергии идущей на повышение давления и подогрев воды – участок 3-4. Все потери энергии на трение и тепло, отображаются на величине эффективного КПД ГПТ [2], который мог первоначально находиться в пределах 40-50 %. В настоящее время за счет улучшения профилирования направляющего аппарата турбины и сопла Лавалья, а также использования вакуумирования в конденсаторе ГПТ и увеличения давления насосом на входе в турбину удалось получить увеличение КПД до 70 %.

Высокой результативности в вопросе совершенствования ГПТ и ее систем добились в научно-практических исследованиях на шахте им. А.Ф. Засядько. В результате проведенных экспериментов были получены конкретные данные повышения эффективности энергетического комплекса шахты [3; 4]. Используя их методику, можно перенести исследования на морской флот с последующей доработкой тепловых схем судна и специфики использования энергетической установки.

Поверочный расчет подбора ГПТ под судовую энергетическую установку может быть выполнен по следующей методике:

– используя широко применяемую формулу Стодола, можно определить потери на трение в ГПТ [4; 5]

$$P_{\text{тр.}} = \lambda \cdot A \cdot d^2 \cdot P_c \left(\frac{U}{1000} \right)^3 \text{ кВт}, \quad (1)$$

где коэффициент $\lambda = 1,2-1,3$ для насыщенного пара;

$A = 1,0$; d – диаметр ротора турбины;

P_c – плотность паровой смеси в камере ротора, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

U – скорость ротора $\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Для определения расхода горячей воды на турбину G , задаемся мощностью турбины N_T , исходя из приближенных значений утилизации тепла

$$G = \frac{N_T}{i_1 - i_2} \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (2)$$

где i_1 – энтальпия при дросселировании потока в сопле Лавалья;

i_2 – энтальпия жидкости на выходе из соплового аппарата Лавалья.

Далее находим потребляемую мощность насоса ГПТ N_H

$$N_H = \frac{G\Delta P}{102 \cdot \eta_H} \text{ кВт}, \quad (3)$$

где ΔP – напор насоса м вод. ст.;

η_H – КПД насоса.

Для нахождения мощности турбины N_T , нам необходимо определить относительный эффективный КПД турбины, который может быть подобран с учетом найденного Δt – температурного напора турбины [5]

$$\Delta t = T_1 - T_2 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

где T_1 и T_2 – температуры теплоносителя на входе и выходе соплового аппарата Лавала.

$$N_T = \eta_{\text{оэ}} \frac{G(i_1 - i_2)}{1000} \text{ кВт}. \quad (5)$$

Коэффициент полезного действия ГПТ определяется по формуле

$$\eta_{\text{ГПТ}} = \frac{N_T - P_{\text{тр.}}}{N_{\text{вт}} + N_H}, \quad (6)$$

где – вводимая тепловая мощность ГПТ, определяется из расчета тепловой схемы турбины.

Авторами статьи предлагается рабочая тепловая схема (рис. 6) глубокой утилизации низкотемпературного тепла, ранее никогда не используемого на морском флоте. Подобная схема своей универсальностью обеспечивает все ходовые режимы судна в различных широтах плавания Мирового океана.

Главный судовый двигатель имеет отработанные газы после газовой турбины наддува ГТН с параметрами 320 °- 340 ° С в режиме номинальной мощности, передавая их в комбинированный паровой котел, который работает автономно на дизтопливе, и как утилькотел работает от отходящих газов ГТН главного двигателя. Полученный пар в паровом котле поступает к распределителю судовых потребителей. Все судовые потребители обладают различной степенью теплового использования пара с параметрами 260 °- 280 ° С. Самым большим потребителем тепла на судне являются паровые подогреватели танков хранения тяжелого топлива, вязкость которого при 50 ° С $335 \frac{\text{мм}^2}{\text{сек}}$, или 335 сСт. Поэтому в раз-

личных широтах плавания будут разные затраты тепла на подогрев тяжелого топлива в танках хранения. Работая в средних умеренных климатических широтах, возврат пароводяной смеси составит $130^{\circ}\text{--}115^{\circ}\text{C}$, который может с успехом использоваться в ГПТ.

Предложенная тепловая схема, позволяет работать в любых широтах. Предусмотрена система для работы ГПТ от внутреннего контура двигателя, предварительно перекрыв 2 – сборник отработанного пара и начав потребление теплоносителя от главного двигателя в его номинальном режиме работы. Теплоносителем в данном режиме, является вода внутреннего контура охлаждения двигателя с параметрами $85^{\circ}\text{--}95^{\circ}\text{C}$.

За счет универсальности схемы, можно использовать судовой комбинированный вспомогательный котел с автономным топливосжиганием для поддержания нужной температуры в контуре охлаждения главного двигателя с целью эффективной работы ГПТ. Используя терморегулирующий вентиль 8 можно повышать и снижать температуру внутреннего контура охлаждения главного двигателя.

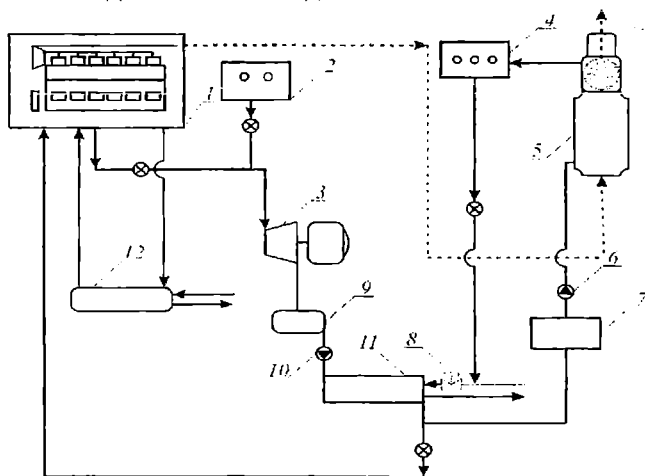


Рис. 6. Судовая тепловая схема глубокой утилизации низкотемпературного тепла:

- 1 – главный двигатель; 2 – сборник отработанного пара;
- 3 – ГПТ с эл. генератором; 4 – рабочий пар к распределителю потребителей;
- 5 – комбинированный паровой котел;
- 6 – питательный насос котла; 7 – теплый ящик котла;
- 8 – дистанционный терморегулирующий вентиль; 9 – конденсатор ГПТ;
- 10 – насос конденсатора с эжектором; 11 – теплообменный аппарат (охладитель); 12 – охладитель внутреннего контура главного двигателя

Источник: разработано авторами

Работая в северных широтах, где потребление пара резко возрастает и теплоноситель ГПТ начнет снижать температуру, станет острой необходимость в поддержании теплового баланса всей тепловой схемы. В такой ситуации в предложенной универсальной схеме достаточно будет открыть клапан ниже распределителя 4 и через дистанционный регулирующий клапан перепустить больше тепла на теплообменный аппарат 11, можно будет одновременно увеличить температуру на конденсаторе ГПТ и теплом ящике котла 7, что повысит температурный режим вспомогательного комбинированного котла и всей тепловой схемы. Этот режим работы может быть использован с системой автономного топливосжигания котла.

Эксплуатируя мощные крейцкопфные судовые двигатели, авторами статьи был накоплен опыт утилизации низкотемпературного тепла за счет эффекта работы системы ВПТ на главных двигателях MAN B & W MC-C. Эта система устанавливается на мощных двигателях с целью экономии топлива, где используется метод автоматического регулирования угла опережения впрыска топлива в цилиндр. Было замечено, что на малых углах опережения впрыска топлива, температура выпускных газов составляет 320°C – 340°C , хотя обороты двигателя снижаются до эконом хода, а температура практически не изменяется. Здесь есть только одно объяснение, которое было найдено при индицировании двигателя электронными средствами диагностики, штатным РМІ, угол опережения впрыска топлива составил в диапазоне $\varphi^{\circ}_{\text{ПКВ}} = -1^{\circ} - 0^{\circ}$ поворота коленчатого вала т.е. мы получили достаточно поздний угол, который ведет к повышению температуры отходящих газов. Это позволяет нам на средних оборотах двигателя достаточно эффективно утилизировать тепло.

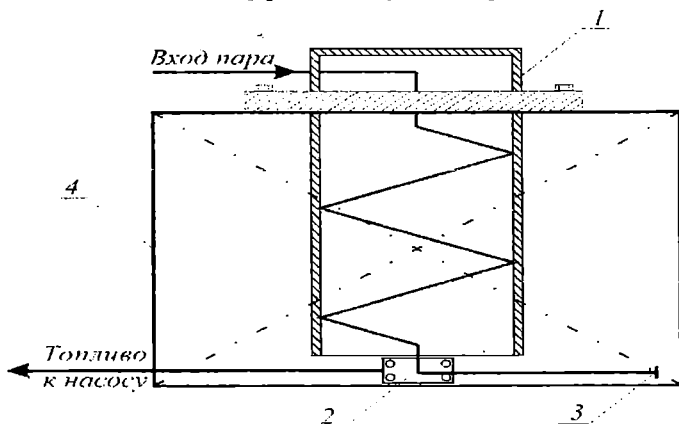


Рис. 7. Тепловая колонна танка хранения тяжелого топлива:
1 – корпус колонны; 2 – стейнер приема топлива; 3 – змеевик подогрева
днища танка хранения топлива; 4 – танк хранения тяжелого топлива

Источник: разработано авторами

Идя по пути максимального использования низкотемпературного тепла, авторами статьи было предложено собственное решение подогрева тяжелого топлива в танках его хранения (см. рисунок 7). В танк хранения топлива монтируется тепловая колонна – 1, внутри которой проходит змеевик с высокой степенью теплосъема. Он подогревает до нужной температуры только тот объем топлива, который будет использоваться главным двигателем и дизельгенераторами т.е. то количество топлива, которое будет перекачиваться в машинно-котельное отделение судна МКО для дальнейшей его топливоподготовки. Остальной объем топлива в танке хранения будет подогреваться до меньшей температуры.

Использование традиционного подогрева танков хранения тяжелого топлива осуществляется змеевиками по всему днищу топливного танка, что по мнению авторов статьи крайне нецелесообразно – это приводит к большим тепловым потерям и снижению температуры обратного пара.

Тепловая колонна должна рассчитываться с учетом производительности топливоперекачивающего насоса для гарантийного обеспечения подачи топлива на сепараторы. Она также будет обеспечена автоматизированным управлением подачи теплоносителя на подогреватель колонны и змеевик топливного танка. Регулировка подачи тепла будет осуществляться электронным блоком управления с использованием дистанционных терморегулирующих клапанов – способных с большой точностью дифференцировать тепло между тепловой колонной и днищевыми змеевиками топливных танков судна.

Выводы и предложения. В статье сделан анализ существующих самых современных тепловых схем утилизации низкотемпературного тепла иностранными компаниями и их научными центрами, которые несмотря на их высокую эффективность, исчерпали себя в возможности их дальнейшего совершенствования, многие из которых сложны в эксплуатации и дорогостоящие в их производстве.

Авторами статьи предложено использование ГПТ В.А. Зысина на морском флоте. С этой целью разработана тепловая схема глубокой утилизации тепла, ранее никогда неиспользуемая на судах. Сама тепловая схема может с успехом быть применена при проектировании, строительстве и реновации судов.

Предложения по углубленному использованию низкотемпературного тепла, явились результатом длительной работы авторов на судах морского флота, судоремонтных базах, Морской академии. Использование системы внутреннего контура охлаждения главного двигателя для работы ГПТ и проектирование с последующим внедрением тепловой колонны для подогрева танков хранения тяжелого топлива на судах, могут уже в настоящее время дать значительную экономию средств.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Mitsubishi Heavy Industries Technical. – Vol. 48. – № 1. – March 2011. – P. 17-21.*
2. Трошенський Б.А. *Возобновляемая энергия: Учебн. пособие. Часть 1. – Харьков: Изд-во «Форт», 2003. – 104 с.*
3. Макарьев Е.В. *Методические основы повышения эффективности СЭУ путем использования утилизирующих гидророторных турбин: Учебн. пособие / Е.В. Макарьев. СПб.: Изд-во ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2015. – 196 с.*
4. Кирсанов М.В., Лукиша А.П. *Оценка эффективности гидророторной турбины для утилизации тепла шахтного энергокомплекса // Геотехническая механика. – Днепропетровск: Изд-во ИГТМ НАНУ, 2012. – № 107. – С.204-211.*
5. Булат А.Ф., Чемерис И.Ф. *Энергетическая эффективность газопоршневой установки с гидророторной турбиной // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – К.: Изд-во ЧП «Мастер-принт», 2011. – № 1. – С.20-23.*

Стаття надійшла до редакції 20.10.2016

Рецензенти:

академік Академії наук суднобудування України, доктор технічних наук, професор кафедри Суднові енергетичні установки та системи Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» **П.С. Суворов**

кандидат технічних наук, завідувач кафедри Суднові енергетичні установки та системи Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія», механік першого розряду **І.З. Маслов**

УДК 622.4

Т.Д. Панченко, В.В. Челабчі, В.М.Челабчі

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗГАЛУЖЕНИХ СУДНОВИХ СИСТЕМ

У статті описаний метод математичного моделювання розгалужених гідравлічних і газових систем. Метод інваріантний до топології систем, до виду характеристик елементів систем і до властивостей робочих речовин.

Ключові слова: метод, моделювання, розгалужені системи.

В статье описан метод математического моделирования разветвленных гидравлических и газовых систем описан в статье. Метод инвариантен к топологии систем, к виду характеристик элементов систем и к свойствам рабочих веществ.

Ключевые слова: метод, моделирование, разветвленные системы.

The method of mathematical simulation of the ramified hydraulic and gas systems is described in the article. A method is invariant to the topology of the systems, to the type of descriptions of elements of the systems and to properties of working substances.

Keywords: method, simulation, ramified systems.

Вступ. Для оптимізації конструкції й режимів роботи різного суднового устаткування та систем важливим є надійне прогнозування процесів у діючих і проєктованих установках і системах. Для досягнення застережених цілей потрібні методи й засоби одержання достовірної інформації про процеси в елементах установок при їх функціонуванні в різних умовах.

Обчислювальний експеримент на основі математичного моделювання з використанням сучасних інформаційних технологій дозволяє провести дослідження швидше й дешевше. Особливо важливо забезпечити достатню вірогідність одержуваних в експерименті результатів при мінімізації витрат.

До розгалужених суднових систем належать системи вентиляції і кондиціонування повітря. Забезпечити економічну і малощумну роботу цих систем можна за наявності надійної інформації про їх експлуатацію. На стадії проєктування систем подібну інформацію можна отримати шляхом математичного моделювання.

Складність моделювання розгалуженої системи з рідким або газоподібним робочим середовищем полягає в істотно нелінійних характеристиках її елементів.

Моделювання процесів розподілу потоків робочих середовищ в подібних системах освітлюється у ряді робіт [1-11]. Використовуються різні чисельні методи включаючи метод кінцевих елементів [9] і метод контрольного об'єму [10]. Проте, як правило, роботи орієнтовані на розрахунок розподілу потоків середовищ в системах певного типу.

Мета роботи – розробка надійного універсального методу моделювання інваріантного до топологи системи, до характеристик елементів системи і до властивостей робочих середовищ.

Математичні моделі об'єкту дослідження. Розглядається моделювання розгалужених газових і гідравлічних систем (мереж) [1]. Будь-яка розгалужена система складається з віток (ділянок) і вузлів (розгалужень).

Під віткою (ділянкою) розуміється сукупність елементів системи, через які проходить один і той же масовий потік робочого середовища (газ або рідина). Вітки можуть містити активні елементи, в яких до робочого середовища підводиться енергія (насоси, вентилятори) і пасивні елементи в яких відбувається дисипація (розсіяння) енергії (окремі елементи каналу, запірні і регулююча апаратура і ін.). Вузли (галуження) можуть містити елементи, що акумулюють масу.

Для вузла без акумуляції маси (рис. 1) виконується умова (1).

$$\sum_{j=1}^m G_j = 0, \quad (1)$$

де j – індекс ділянки підключеного до вузла;
 m – кількість ділянок приєднаних до вузла;
 G_j – масовий потік середовища на j -ій ділянці.

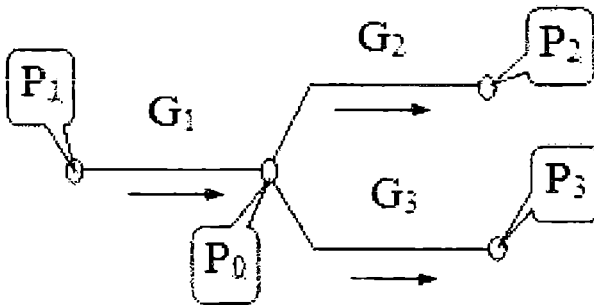


Рис. 1. Схема вузла мережі

Прийнято вважати для потоків спрямованих у вузол величини витрат додатними, а для потоків, що впливають, – від'ємними.

Наприклад, для вузла мережі, показаного на рис. 1, справедливо (2).

$$G_1 - G_2 - G_3 = 0. \quad (2)$$

Складність обчислювального експерименту стосовно розгалужених систем обумовлена, як правило, істотно нелінійними залежностями, присутніми в моделях.

Найчастіше при формуванні моделей віток використовується феноменологічний підхід з використанням довідкової літератури, але можливе визначення характеристик віток експериментальним шляхом.

Зазвичай розрахунок падіння (втрати) тиску на пасивній ділянці робиться підсумовуванням втрат тиску розподілених по довжині каналу і втрат тиску за рахунок вихороутворення в місцевих елементах (3).

$$\Delta P_y = \sum_{i=1}^n \left(\lambda_i \cdot \frac{L_i}{d_i} \cdot \frac{\rho \cdot v_i^2}{2} \right) + \sum_{j=1}^m \left(\zeta_j \cdot \frac{\rho \cdot v_j^2}{2} \right). \quad (3)$$

У розрахунках зручно використати масову витрату середовища G з урахуванням незмінності масової витрати середовища в каналі (4).

$$\Delta P_y = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\lambda_i \cdot L_i}{2 \cdot d_i \cdot \rho_i \cdot F_i^2} \right) + \sum_{j=1}^m \left(\frac{\zeta_j}{2 \cdot \rho_j \cdot F_j^2} \right) \right] \cdot G^2, \quad (4)$$

- де ΔP_y – падіння (втрата) тиску на пасивній ділянці;
 v – швидкість робітничого середовища в елементі ділянки;
 G – масовий потік середовища $G = \rho \cdot v \cdot F$;
 F – площа прохідного перерізу каналу;
 L – довжина каналу (труби);
 d – гідравлічний діаметр каналу (для труби – її діаметр);
 λ – коефіцієнт, що враховує втрати розподілені по довжині;
 ρ – щільність робітничого середовища;
 ζ – коефіцієнт місцевих опорів;
 n – кількість елементів з розподіленими по довжині втратами;
 m – кількість місцевих елементів.

За наявності місцевих опорів, величина яких залежить від напряму потоку середовища, розрахунок падіння тиску проводиться по уточненій формулі (5).

$$\Delta P_y = \text{sign}(G) \cdot \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\lambda_i \cdot L_i}{2 \cdot d_i \cdot \rho_i \cdot F_i^2} \right) + \sum_{j=1}^m \left(\frac{\zeta_j}{2 \cdot \rho_j \cdot F_j^2} \right) \right] \cdot G^2. \quad (5)$$

Підвищення тиску P_a в активному елементі (вентилятор, насос) визначається згідно з його паспортною діаграмою.

Коли ділянка мережі містить активні і пасивні елементи то слід взяти до уваги, що в якості розрахункової величини прийнято використати втрату натиску ΔP по напрямку руху потоку. Тому в розрахунках тиск, що розвивається активним елементом P_a слід приймати з від'ємним знаком (6).

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \Delta P_{y_i} - \sum_{j=1}^m \Delta P_{a_j}, \quad (6)$$

де n, m – відповідно кількість пасивних і активних елементів на ділянці.

Характеристики активних і пасивних елементів зручно апроксимувати поліномами (7).

$$\Delta P_a = \sum_{k=0}^{K_{pas}} c_{ak} \cdot G^k, \quad \Delta P_b = \sum_{k=0}^{K_{pas}} c_{bk} \cdot G^k, \quad (7)$$

де коефіцієнти апроксимуючих поліномів:

c_{ak} – для пасивних елементів;

c_{bk} – для активних елементів.

Повна характеристика будь-якої ділянки описується залежністю (8).

$$\Delta P_y = \sum_{k=0}^{K_{pas}} (c_{ak} + c_{bk}) \cdot G^k = \sum_{k=0}^{K_{pas}} a_k \cdot G^k. \quad (8)$$

У загальному випадку падіння тиску на ділянці може описуватися функцією декількох аргументів (9).

$$\Delta P = f(G, h_1, h_2, \dots, h_n), \quad (9)$$

де ΔP – падіння тиску по напрямку потоку;

G – масовий потік середовища (основний аргумент);

$h_1 \div h_n$ – додаткові аргументи (наприклад, міра відкриття запірної апаратури та ін.).

Найчастіше при апроксимації залежності (8) єдиною формулою з урахуванням напрямку потоку виникають певні труднощі. В цьому випадку (наприклад, за наявності аргументів G і h) типова характеристика пасивної ділянки представлена як показано на рис. 2.

Доцільно [2-3] організувати апроксимацію таким чином (10).

$$G \geq 0, \quad \Delta P = \sum_{i=0}^{i_n} \sum_{j=0}^{j_n} d_{ij} \cdot G^i \cdot h^j, \\ G < 0, \quad \Delta P = - \sum_{i=0}^{i_n} \sum_{j=0}^{j_n} s_{ij} \cdot |G|^i \cdot h^j \quad (10)$$

де d_{ij} і s_{ij} – коефіцієнти апроксимуючих функцій відповідно для додатних та від'ємних значень G .

Вид типової характеристики каналу з пасивними елементами, описано залежністю (10), графік якої приведений на рис. 2.

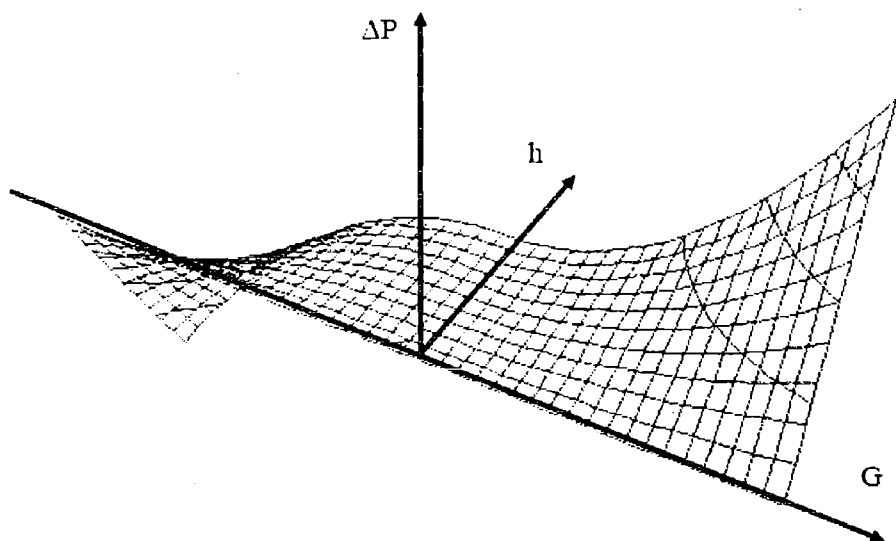


Рис. 2. Схема відображення залежності $\Delta P = f(G, h)$

Для апроксимації робочих характеристик активних елементів (насоси, вентилятори) використовується алгоритм керованої ідентифікації нелінійної характеристики активного елемента [12]. Наприклад робоча характеристика вентилятора ERAE 225-4 К (рис. 3) апроксимується рівнянням (11).

$$P_a = \sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n a_{ij} \cdot V^i \cdot Q^j, \quad (11)$$

де V – напруга живлення вентилятора, В;
 Q – продуктивність вентилятора, м³/с;
 P – тиск, що розвивається вентилятором, Па.

Слід враховувати розмірність величин використовуваних в паспортних робочих характеристиках вентиляторів.

Як правило, на діаграмах використовується об'ємна витрата повітря. З урахуванням особливості методу необхідно при моделюванні привести величини об'ємної витрати до масових.

Алгоритм обчислювального експерименту. Моделювання проводиться у два етапи. На першому етапі визначаються характеристики кожної вітки мережі у вигляді (12).

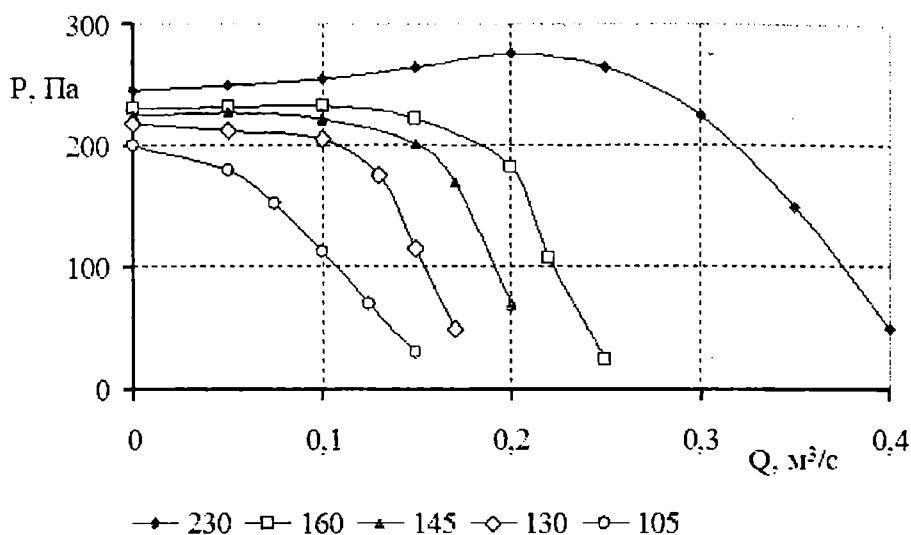


Рис. 3. Робоча характеристика вентилятора ERAE 225-4 K

$$\Delta P = \sum_{k=0}^{k_n} a_k \cdot G^k, \quad G = \sum_{k=0}^{k_n} b_k \cdot (\Delta P)^k, \quad (12)$$

де a_k і b_k – коефіцієнти апроксимуючих функцій.

На другому етапі для розрахунку величин потоків G і тисків у вузлах мережі зорганізується система квазілінійних алгебраїчних рівнянь (СКЛАР) (13).

$$\sum_{j=1}^m G_j = \sum_{j=1}^m f(\Delta P_j), \quad (13)$$

де j – індекс ділянки підключеної до вузла;

m – кількість ділянок приєднаних до вузла;

G_j – масова потік середовища на j -ом ділянці;

ΔP_j – втрата тиску на j ділянці з обліком обраного додатного напрямку G .

Коефіцієнти матриці й елементи вектора правої частини системи при моделюванні уточнюються ітераційним шляхом. Рішення системи рівнянь на кожній ітерації проводиться прямими методами.

Як правило, для уточнення значень коефіцієнтів системи квазілінійних алгебраїчних рівнянь використовується метод простих ітерацій, що може призвести до нестійкого ітераційного процесу. Крім того, такий підхід вимагає завдання значень G в першому наближенні.

З метою забезпечення сталого ітераційного процесу і зниження числа ітерацій пропонуються методи дотичних і керованої локальної лінерізації для оперативного розрахунку коефіцієнтів системи квазілінійних алгебраїчних рівнянь.

На кожній ітерації характеристика кожної ділянки відбивається згідно (14).

$$\Delta P = r_* + k_* \cdot G, \quad G = A_* + B_* \cdot \Delta P. \quad (14)$$

Символ * відносить величину до поточної ітерації.

Схема апроксимації методом дотичних наведена на рис. 4.

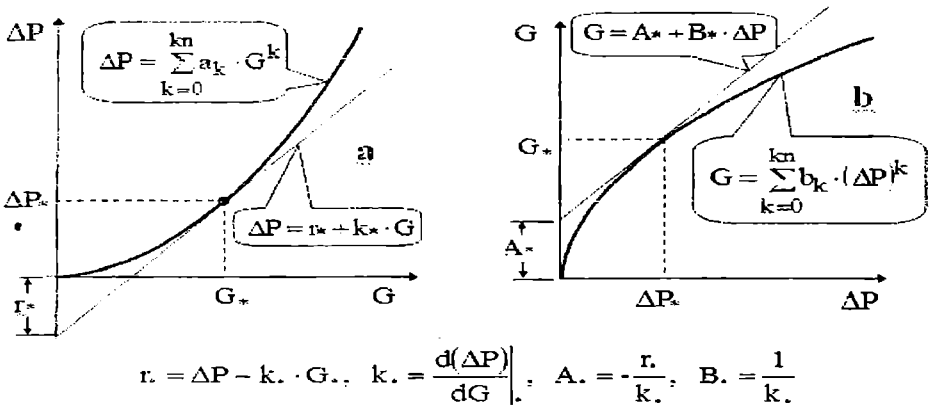


Рис. 4. Апроксимація характеристики ділянки дотичною

Розглянутий підхід забезпечує швидку збіжність ітераційного процесу, але вимагає завдання значень витрат по ділянках у першому наближенні.

Більше ефективного використання ітераційного процесу при використанні локально-ітераційної лінерізації [11].

У цьому випадку відпадає необхідність завдання величин витрат у першому наближенні. Суть підходу керованої локальної лінерізації відбита на рис. 5.

При локальній лінерізації на початку ітераційного процесу організується робочий інтервал G або P першої ітерації. Цей робочий інтервал охоплює всю область зміни витрати G або P .

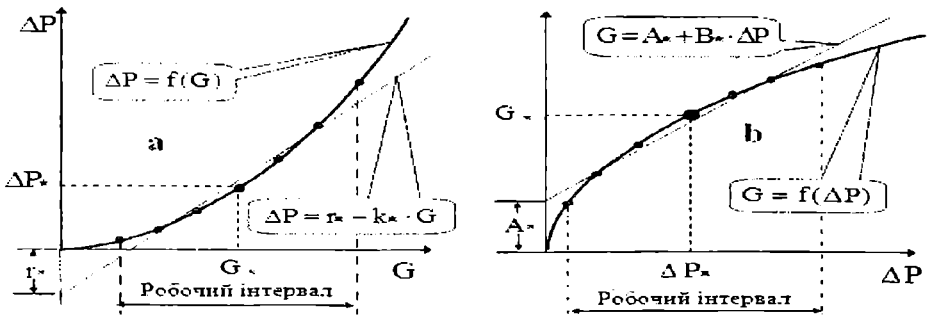


Рис. 5. Локальна лінеаризація характеристики ділянки мережі

На наступних ітераціях величина робочого інтервалу звужується по залежностям (14).

$$\Delta G_m = k \cdot \Delta G_{m-1} \quad \text{чи} \quad \Delta P_m = k \cdot \Delta P_{m-1}, \quad (14)$$

де m – номер ітерації;

k – коефіцієнта звуження.

Величина коефіцієнта звуження k призначається в межах від 0,5 до 0,7.

На всіх ітераціях робочий інтервал розташовується таким чином, щоб величина значення G^* або P^* містилася по центрі робочого інтервалу.

На кожній ітерації методом найменших квадратів проводиться апроксимація лінійною залежністю характеристики ділянки мережі на робочому інтервалі.

Послідовність дій розглядається на конкретному прикладі розрахунку розподілу потоків робітничого середовища в розгалуженій вентиляційній мережі (рис. 6). На рисунку стрілками показані додатні напрямки потоків.

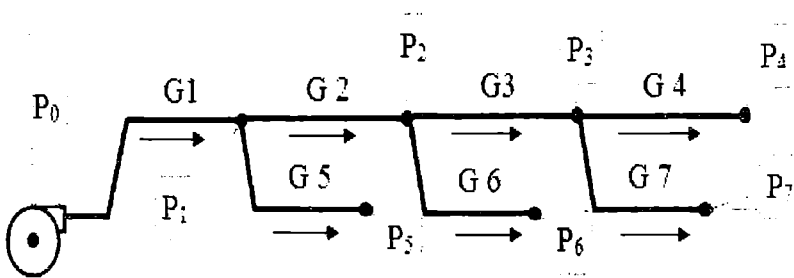


Рис. 6. Топологічна схема мережі

Для кожного з вузлів записується рівняння балансів потоків.
Вузол 1:

$$\begin{aligned} G1-G2-G5 &= 0, \\ A1+B1*(P0-P1)-A2-B2*(P1-P2)-A5-B5*(P1-P5) &= 0, \\ P1*(-B1-B2-B5)+P2*(B2) &= -A1+A2+A5-B1*P0-B5*P5. \end{aligned} \quad (16)$$

Вузол 2:

$$\begin{aligned} G2-G3-G6 &= 0, \\ A2+B2*(P1-P2)-A3-B3*(P2-P3)-A6-B6*(P2-P6) &= 0, \\ P1*(B2)+P2*(-B2-B3-B6)+P3*(B3) &= -A2+A3+A6-P6*B6. \end{aligned} \quad (17)$$

Вузол 3:

$$\begin{aligned} G3-G4-G7 &= 0, \\ A3+B3*(P2-P3)-A4-B4*(P3-P4)-A7-B7*(P3-P7) &= 0, \\ P2*(B3)+P3*(-B3-B4-B7) &= -A3+A4+A7-P4*B4-P7*B7. \end{aligned} \quad (18)$$

Рішення квазілінійної системи рівнянь (СКЛАР) (16); (17); (18) на кожній ітерації можна проводити або ітераційними або прямими методом. При використанні ітераційних методів система рівнянь (16)-(18) приводиться до виду (19).

$$\begin{aligned} P1 &= P2 \cdot \frac{B2}{B1+B2+B5} + \frac{A1-A2-A5+B1*P0+B5*P5}{B1+B2+B5}, \\ P2 &= P1 \cdot \frac{B2}{B2+B3+B6} + P3 \cdot \frac{B3}{B2+B3+B6} + \frac{A2-A3-A6+B6*P6}{B2+B3+B6}, \\ P3 &= P2 \cdot \frac{B3}{B3+B4+B7} + \frac{A3-A4-A7+B4*P4+B7*P7}{B3+B4+B7}. \end{aligned} \quad (19)$$

При використанні прямих методів формується матриця коефіцієнтів і вектор правої частини (таблиця 1).

Таблиця 1

Елементи СКЛАР

Матриця коефіцієнтів відносно:			Вектор правої частини
<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	
-B1-B2-B5	B2	0	-A1+A2+A5-B1*P0-B5*P5
B2	-B2-B3-B6	B3	-A2+A3+A6-P6*B6
0	B3	-B3-B4-B7	-A3+A4+A7-P4*B4-P7*B7

Завершення ітераційного процесу рішення здійснюється при виконанні для кожного вузла умови (20).

$$\sum_{j=1}^m G_j \leq \varepsilon, \quad (20)$$

де ε – абсолютний ітераційний допуск.

Проводилось порівняння швидкості збіжності ітераційного процесу рішення різними методами при моделюванні вентиляційної системи схема якої приведена на рис. 7.

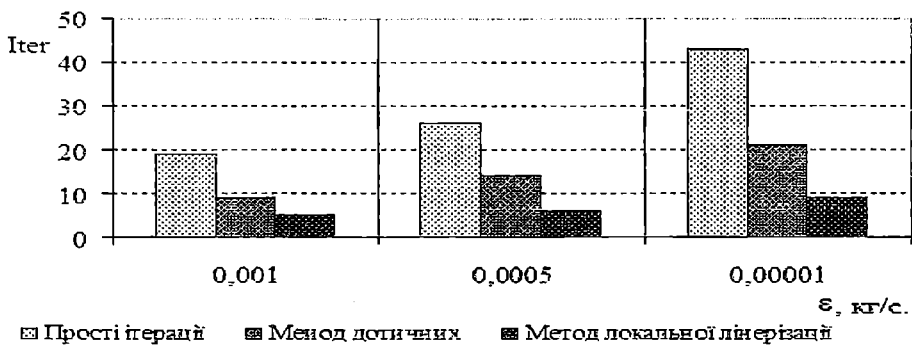


Рис. 7. Дослідження ітераційного процесу

На рис. 8 для однієї з ділянок системи (рис. 6) показані фази ітераційного процесу з використанням методу локальної лінеаризації.

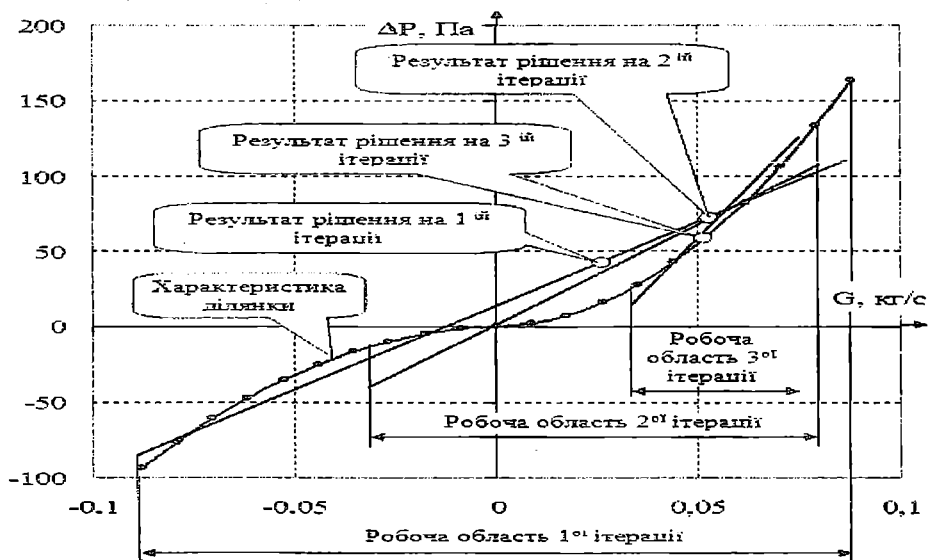


Рис. 8. Фази ітераційного процесу при локальній лінеаризації

Висновки. Описаний метод математичного моделювання розгалужених систем можна використати при дослідженні режимів розподілу потоків по ділянках будь-яких систем. Метод інваріантний до топології розгалуженої системи і типу її елементів. За наявності у вузлах мережі елементів що акумулюють масу метод дозволяє використання диференціальних операторів, що відбивають динаміку процесу накопичення маси. У цьому разі диференціальні оператори апроксимуються різницевиими, що не призводить до істотних змін метода. Розроблено ефективний метод локальної лінеаризації для апроксимації нелінійних характеристик елементів системи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гартман Т.Н. Компьютерное моделирование простых гидравлических систем: Учебн. пособие / Т.Н. Гартман, В.Н. Калинин, Л.И. Артемьев. – М.: РХТУ им. Менделеева, 2002. – 40 с.
2. Шиляев М.И. Типовые примеры расчета систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха [Текст]: Учебн. пособие / М.И. Шиляев, Е.М. Хромова, Ю.Н. Дорошенко. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2012. – 288 с.
3. Меренков А.П., Хасилев С.Ю. Теория гидравлических цепей. М.: Наука, 1985. – 279 с.
4. Шиляев М.И. Типовые примеры расчета систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха [Текст]: Учебн. пособие / М.И. Шиляев, Е.М. Хромова, Ю.Н. Дорошенко. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2012. – 288 с.
5. Laucelli D. New concepts and tools for pipe network design / D. Laucelli, O. Giustolisi, E. Todini // *Water Distribution System Analysis*. – Tucson, AZ, USA. – 2010. – P. 1-12.
6. American Water Works Association. *Computer modeling of water distribution systems*. – 2012. – 318 p.
7. Кассина Н.В. Математическое моделирование разветвленных гидравлических систем / Н.В. Кассина, Л.В. Смирнов // *Вычислительные методы и математическое моделирование*. – 2006. – С. 216-226.
8. Файзуллин Р.Т. Расчет и оптимизация больших гидравлических сетей / Р.Т. Файзуллин // *Труды Международной конференции RDAMM*. – Новосибирск, 2001. – С. 638-641.
9. Дударь Е.С. Применение метода конечных элементов для расчета потокораспределения в гидравлической сети произвольной сложности / Е.С. Дударь // *Пермский государственный технический университет*. – 2010. – С. 1-3.

10. Метод контрольного объема для расчета гидравлических сетей с нелинейным сопротивлением / В.Ю. Волков, А.А. Крутиков, Ю.Н. Надинский и др. // Тяжелое машиностроение. – 2014. – № 4. – С. 29-34.
11. Merkt R.V. Simulation of branched systems with nonlinear elements / R.V. Merkt, V.V. Chelabchi, V.N. Chelabchi // Сб. научн. трудов Sword. – Иваново: МАРКОВА АД, 2013. – Вып. 3. – Т. 4. – С. 85-90.
12. Бдуль О.М. Керована ідентифікація нелінійних статичних характеристик об'єктів / О.М. Бдуль, В.В. Челабчі // Сб. научн. трудов Sword. – Иваново: МАРКОВА АД, 2014. – Вып. 2. – Т. 29. – С. 37-41.

Стаття надійшла до редакції 18.11.2016

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **В.Г. Івановський**

доктор технічних наук, професор, в.о. завідувача кафедри «Вища математика» Одеської національної академії харчових технологій **В.Х. Кирилов**

УДК 624.154

К.Ю. Федорова

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМАЦІЙНОГО СТАНУ БЕРЕГОУКРІПНИХ СПОРУД

В статье рассматриваются вопросы, позволяющие выполнить совместный расчет оградительных сооружений и окружающей грунтовой среды. При этом предложено использовать упруго-пластическую модель, благодаря чему появляется возможность выявить дополнительные резервы несущей способности берегоукрепительных сооружений. Предложено этот метод расчета использовать как при проектировании, так и при реконструкции последних.

Ключевые слова: волна, волновые нагрузки, грунтовая среда, буны, волнозащитные стены, береговой уклон, пластическая зона, эпюра.

У статті розглядаються питання, що дозволяють виконати сумісний розрахунок огороджувальних споруд та навколишнього грунтового середовища. При цьому запропоновано використати пружно-пластичну модель, завдяки чому з'являється можливість виявити додаткові резерви несучої здатності берегоукріпних споруд. Запропоновано цей метод розрахунку використовувати як при проектуванні, так і при реконструкції останніх.

Ключові слова: хвиля, хвильове навантаження, грунтове середовище, буни, хвилезахисні стіни, береговий уклін, пластична зона, еюра.

The article deals with questions to perform the calculation of the joint protection structures and the surrounding soil environment. At the same time it is proposed to use an elastic-plastic model, whereby it is possible to identify additional reserves of the bearing capacity of shore protection structures. It is proposed that the calculation method used in both the design and renovation of the latter.

Keywords: wave, wave loads, soil ground, groins, Spray walls, coastal slope, plastic zone, diagram

Морські береги, береги рік та водосховищ України потребують захисту від розливу та затоплення, що викликає необхідність зведення нових берегоукріпних споруд, реконструкції та підсилення вже збудованих, особливо тих, які схильні до руйнівних дій штормових хвиль. Помилки у проектуванні та розрахунку таких споруд призводять до значних перевитрат та різкому збільшенню трудових витрат, а у протилежному випадку – до передчасної їх руйнації.

© Федорова К.Ю., 2016

Більш точне урахування хвильових навантажень на ці споруди та їх дійсної сумісної роботи з оточуючим ґрунтовим середовищем дозволяє при проектуванні створити надійні та оптимальні конструкції, які здатні впевнено протистояти зовнішнім впливам.

Нами розроблено програмний комплекс, який орієнтований на розв'язання такого класу задач. У даній статті наведено результати дослідження основних типів огорожувальних споруд та зроблено аналіз їх роботи. Розглядаються напружено-деформований стан таких берегоукріпних споруд: плити кріплення берегових укосів, буни, хвилезахисні стіни, підводний хвилелом. Погоджено методику, яка дозволяє виконувати розрахунки систем, що містять як саму конструкцію, так і ґрунтові укоси, які контактують з нею, фільтрові підготовки та водне середовище.

Розрахункова схема покриття укосу наскрізними плитами показана на рис. 1 (а). Розрахунок кріплення укосу виконується у два прийоми. Спочатку визначається товщина плити розрахунком на стійкість від зважуючого тиску води при відкаті хвилі та її власної ваги. Потім виконується розрахунок напруженого стану від нахату хвилі та власної ваги плити. На рис. 1 наведена схема утворення пластичних зон в системі (б) та еюра переміщень u_2 нижньої границі плити (в). При відкаті хвилі пластичні зони у фільтровій підготовці та ґрунтовому масиві зменшуються. При наступних циклах нахат-відкат хвилі відбувається зміна форми областей пластичних зон, зростання переміщень плит та поступове збільшення залишкових деформацій в системі. Оскільки під час шторму дія хвиль на кріплення укосу повторюється багаторазово, то, враховуючи повторюваність штормів, робимо висновок, що плити поступово переміщуються вниз по укосу, при цьому їх осадка збільшується.

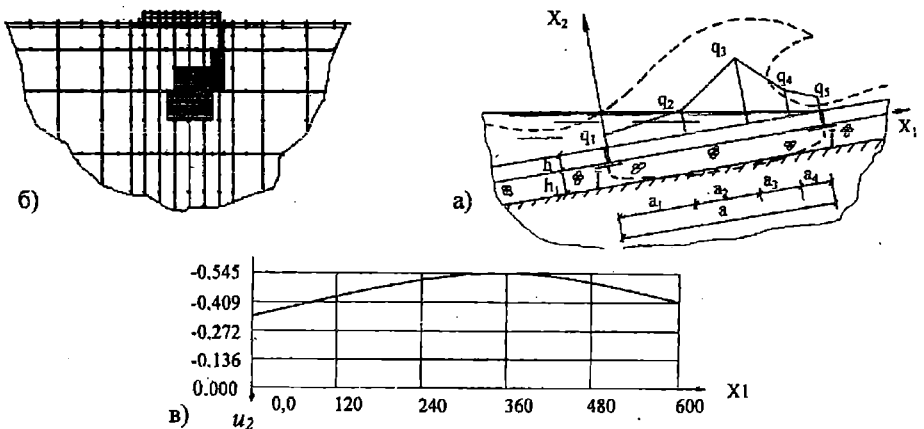
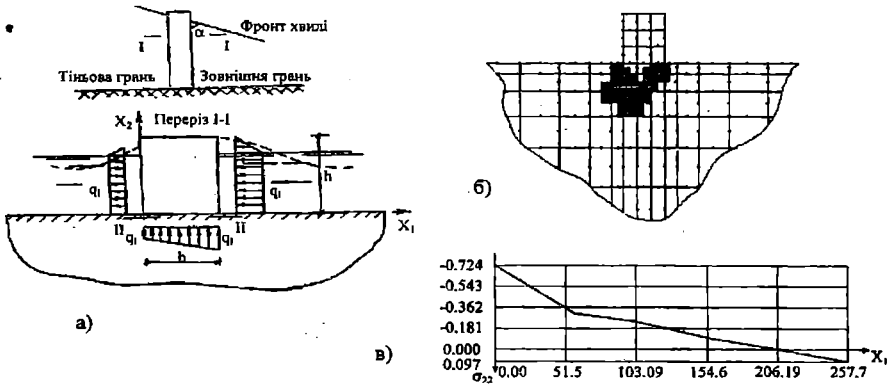


Рис. 1. Розрахункова схема покриття укосу наскрізними плитами

Для випадків, коли максимум хвильового впливу припадає на стик двох плит, або відбулось вимивання ґрунту під одним чи двома краями плити, результати показують, що руйнування укiсних споруд починається з дефектiв, пов'язаних з деформацiями пiдґрунтя пiд плитами. В iснуючих методах розрахунку покриттiв укiсiв за другим граничним станом використовуються пружнi моделi укiсiв. Це не дозволяє прогнозувати можливі наслідки, викликані, наприклад, нерiвномiрними осадками чи залишковими деформацiями, що може привести до руйнування укiсної споруди. Запропонована методика дає можливість визначити такі деформацiї, виявляти та своєчасно попереджувати можливі негативні наслідки таких небезпечних явищ.

Дослiджувалась робота збiрних залiзобетонних та пальових бун. Звичайно хвиля пiдходить до бокових поздовжнiх граней буни пiд деяким кутом, тому хвильовi тиски прикладенi як з навітряного, так i з пiдвітряного боку буни. Результатуюча цих тискiв намагається зсунути масив буни. Розрахункова схема системи при дiї бокового та зважуючого хвильового тискiв наведена на рис. 2 (а).



*Рис. 2. Розрахункова схема системи
при дiї бокового та зважуючого хвильового тискiв*

На цьому ж рисунку показана схема утворення пластичних зон (б) та епюра контактних напружень σ_{22} по перерiзу II-II (в). Очевидно, що виникаючі залишкові деформацiї при багаторазовому накатi хвиль можуть привести до значних перемiщень буни протягом її експлуатацiйного перiоду. Пальовi буни застосовуються на ґрунтах, що допускають забивання паль. Вони слабко реагують на нерiвномiрну осадку пiдґрунтя и не змiнюють свого положення в результатi його розмивання. Буни вiдносяться до активних намулозатримуючих споруд. З плином часу з боку намулiв буна може бути повнiстю замулена.

Досліджувався напружено-деформований стан як замулених, так і вільних систем під дією хвильового навантаження, власної ваги паль та засипки. Виконані розрахунки при циклічному навантаженні (накат – відкат хвилі) показали, що повторне навантаження, а потім розвантаження незначно змінюють початковий напружено-деформований стан системи. Залишкові деформації, що виникають на початку хвильового впливу, малі, швидко затухають і суттєво не впливають на загальний стан системи.

Хвилезахисні стіни звичайно застосовуються сумісно з раніше побудованими бумами та підводними хвилеломами. Були досліджені два основних типа стін: гравітаційні та шпунтові. Розрахунки виконувались для періоду будівництва стінки (коли засипки ґрунту за стінкою немає і на неї діють хвилі, які розбиваються, та зважуючий хвильовий тиск) і під час її експлуатації (коли за стінкою мається засипка і на неї діють боковий та зважуючий тиски при відкоті хвилі). Обидві розрахункові схеми показані на рис. 3 (а, в).

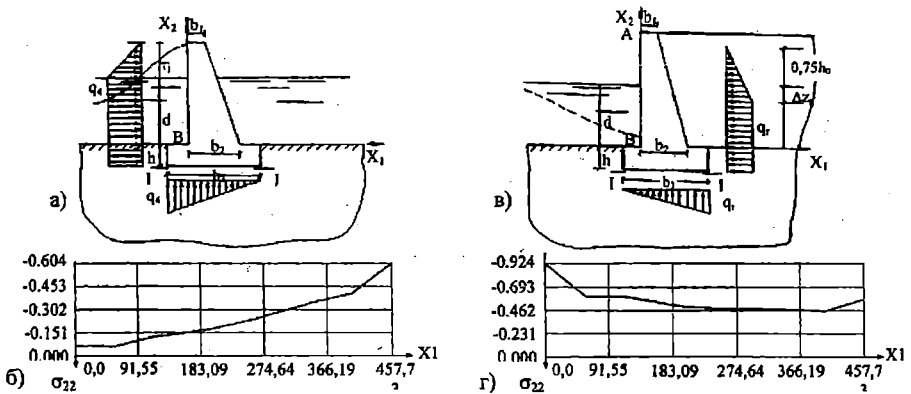


Рис. 3. Розрахункові схеми систем для будівельного та експлуатаційного випадків

На цьому ж рисунку наведені епюри контактних напружень σ_{22} по перерізу I-I для обох випадків (б, г). Результати розрахунків показали, що найбільш несприятливим випадком є експлуатаційний. Цікаво зазначити, що у гравітаційних стін у ґрунті під їх нижніми і раями пластичні зони були відсутні або незначні. Це викликано зважуючою дією хвилі. При відсутності водного середовища під такими спорудами в ґрунті утворюються обширні пластичні зони з пружним ядром.

Шпунтові стіни є досить перспективними хвилезахисними спорудами завдяки відносній дешевизні та швидкості побудови. На рис. 4 подані розрахункова схема системи (а), схема утворення пластичних зон (б) та епюра тисків ґрунту σ_{11} на стінку по перерізу I-I від дії її власної ваги та хвильового навантаження (в).

Система працює за умов складного напруженого стану Дія хвиль під час нахату та відкату викликає невелику, проте стабільну осадку шпунта яка під час багаторазового впливу штормових хвиль може досягати істотних величин.

Досліджувались підводні хвилеломи, основна мета яких гасити енергію набігаючої хвилі та сприяти накопиченню намулів між берегом та хвилеломом. Розрахункова схема системи показана на рис. 5 (а). Були розглянуті два види хвильових впливів: коли гребінь хвилі знаходиться над похилою гранню хвилелому та коли над похилою гранню розташована западина хвилі. Діюче хвильове навантаження визначалось за результатами теорії визначення силового впливу набігаючої хвилі кінцевої амплітуди на занурений підводний хвилелом з приблизним вирішенням за допомогою метода граничних елементів. На рис. 5 зображена схема утворення пластичних зон (б) та епюра контактних напружень σ_{22} у ґрунті від першого виду навантаження (в).

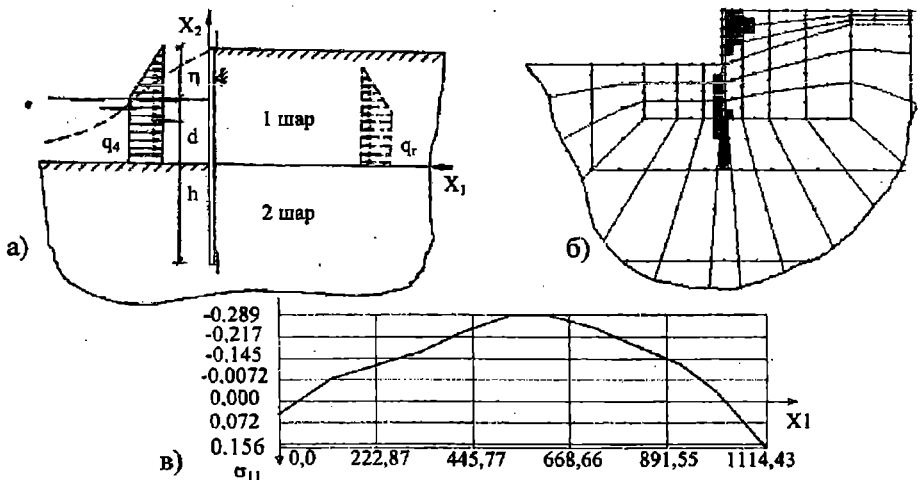


Рис. 4. Розрахункова схема системи

Розрахунки показали, що після кожного циклу нахат-відкат хвилі у підґрунті утворювались залишкові деформації, які поступово затухали. Під час дії другого виду навантаження пластичні зони у підґрунті, як і контактні напруження, зменшилися. Горизонтальні переміщення хвилелому спрямовані у бік моря.

Результати, отримані для конкретного розрахунку при теоретичному визначенні хвильового навантаження, підтверджуються експериментальними даними ЧНДІП. Таким чином, запропонована методика та програмний комплекс дозволяють оцінити напружено-деформований стан в цілому усіх елементів системи «хвилелом-ґрунтове середовище» при дії хвильового навантаження та знайти найбільш економічне та надійне конструктивне рішення для підводного хвилелому.

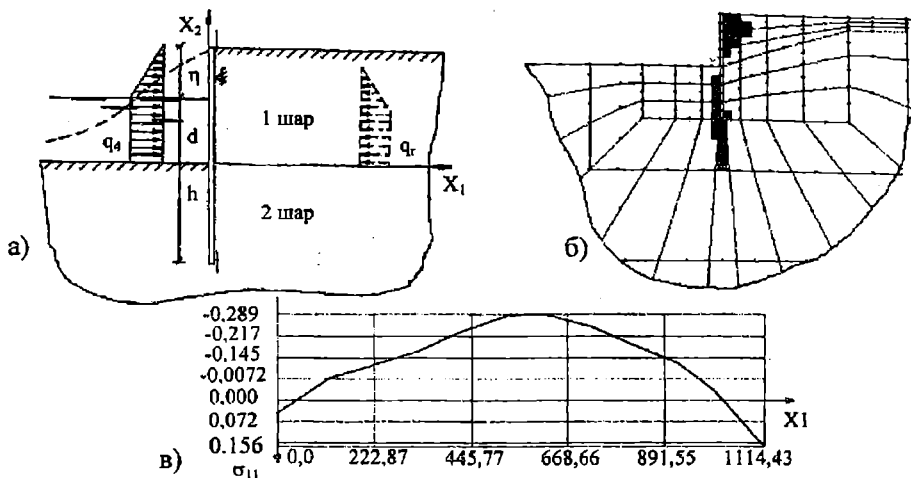


Рис. 5. Розрахункова схема системи

У результаті проведених робіт можна дійти наступних висновків.

У зв'язку з тим, що берегоукріпні споруди у реальних умовах експлуатації працюють у складному напружено-деформованому стані, методика розрахунку таких споруд з врахуванням пружнопластичних властивостей їх матеріалів дозволяє з єдиної позиції реалізувати запропонований у СНІП підхід до проектування за двома паралельними станами: за міцністю та деформаціям.

Сумісний розрахунок огорожувальних споруд та оточуючого ґрунтового середовища з використанням пружно-пластичної моделі останньої дозволяє виявити резерви несучої спроможності споруд при їх проектуванні та реконструкції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гришин А.В. *Нелинейная динамика оградительных сооружений* / А.В. Гришин, Е.Ю. Федорова. – Одесса: ОНМУ, 2002. – 239 с.
2. Гришин А.В. *Нелинейные динамические задачи расчета портовых гидротехнических сооружений* / А.В. Гришин, Е.Ю. Федорова. – Одесса: ОНМУ, 2002. – 125 с.
3. Федорова Е.Ю. *Приближенная гидродинамическая теория прогрессивных волн конечной амплитуды* / Е.Ю. Федорова // *Вісник ОДМУ*. – Одеса: Вид-во ОДМУ. – 1998. – № 1. – С. 57-61.
4. Федорова Е.Ю. *Развитие методов решения задачи о прогрессивных волнах конечной амплитуды* / Е.Ю. Федорова // *Вісник ОДМУ*. – Одеса: Вид-во ОДМУ. – 1998. – № 1. – С. 62-66.

5. Дубровський М.П. Несуча здатність паль з розширом, які сприймають розтягуюче навантаження / М.П. Дубровський, К.Ю. Федорова // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Основи і фундаменти». – К.: КНУБА, 1999. – С. 14-19.
6. Гришин А.В. Совместный расчет подпорной стенки и деформируемой среды при сложном статическом нагружении / Гришин А.В., Федорова Е.Ю. // Вісник ОДМУ. – Одеса: Вид-во ОДМУ. – 2001. – № 7. – С. 127-130.
7. Федорова Е.Ю. Давление волн на подводный трубопровод, лежащий на грунтовом основании / Е.Ю. Федорова // Вісник ОДМУ. – Одеса: Вид-во ОДМУ. – 2001. – № 6. – С. 90-96.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2016

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, академік УВ МАНЕБ, завідувач лабораторії Дослідження конструкцій гідротехнічних споруд (ДКГС) ДП «ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ» **М.Б. Пойзнер**

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Інженерні конструкції та водні дослідження» Одеського національного морського університету **М.В. Адамчук**

УДК 681.518:656.071.4

Т.Е. Корниец, А.К. Смаркалова

**ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРЕГРУЗОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
НА ПОРТОВОМ ТЕРМИНАЛЕ**

Определены условия формирования информационных потоков с последующей оценкой показателей эксплуатации перегрузочного оборудования.

Построена вероятностная модель работы терминала для случая складского варианта взаимодействия транспортных потоков. Полученные результаты позволили вычислить вероятностные показатели и условия устойчивой работы терминала стивидорной компании. Подход основан на теории систем массового обслуживания, работающих в случайной среде.

Ключевые слова: информационные потоки, производственный процесс стивидорной компании, вероятностные показатели.

Визначені умови формування інформаційних потоків з наступною оцінкою показників експлуатації перевантажувального обладнання.

Побудована ймовірнісна модель роботи терміналу для випадку складського варіанту взаємодії транспортних потоків. Отримані результати дозволили визначити ймовірнісні показники й умови стійкої роботи терміналу стивідорної компанії. Підхід оснований на теорії систем масового обслуговування, працюючих у випадковому середовищі.

Ключові слова: інформаційні потоки, виробничий процес стивідорної компанії, ймовірнісні показники.

The conditions of formation of information flows, followed by assessment of performance operation handling equipment are determined.

Probabilistic model of the terminal work in the case of storage options interaction of traffic flows is built. The results allowed to formulate the probability figures and conditions for the stable operation of the stevedoring company terminal. The approach is based on the theory of mass service systems operating in a random environment.

Keywords: information flows, the production process of the stevedoring company, probability indicators.

Введение. Как и в любой производственной сфере, качество производственного процесса стивидорной компании тесно связано с надежным функционированием всех его элементов: ресурсов, технологии, системы управления и др.

Под производственным процессом авторы статьи понимают число транспортных средств (ТС), находящихся на терминале стивидорной компании в некоторый момент времени, а также число работоспособных перегрузочных машин. Эти две важнейшие характеристики – качество и надежность – тесно переплетаются и дополняют друг друга и, как системные понятия, имеют сложную структуру со своими элементами, логическими, информационными и технологическими связями. Количественно обе они оцениваются набором различных показателей, причем некоторые показатели надежности могут рассматриваться одновременно и как показатели качества. Среди показателей качества производственного процесса одним из важных является информация.

Наличие информационного потока, обеспечивает поддержание производственного процесса в работоспособном состоянии, предоставляя информацию о ходе производственного процесса, о состоянии перегрузочных машин, о фактах их отказов, что позволяет в любой момент времени принять своевременные управленческие решения, направленные на обеспечение работоспособного состояния перегрузочного процесса. Тем самым, предотвращая риски, связанные с возможностью нарушения установленных договорных обязательств, например превышения фактического стояночного времени судна договорного времени (сталийного времени). Этим обосновывается актуальность проведенного исследования.

Анализ литературных источников и постановка проблемы. В широком понимании производственная деятельность стивидорной компании охватывает процессы эксплуатации, поддержания материально-технических и трудовых ресурсов в состоянии высокой работоспособности и рационального использования, а также модернизации и развития ее терминалов. Каждый из этих процессов требует организации и управления, которые невозможно осуществить без наличия полной, своевременной и точной информации.

В реальной производственной практике стивидорной компании, при наличии достоверной информации, существенную помощь могут оказать современные подходы по управлению эксплуатационной надежностью терминала, основанные на методах математической теории надежности, математической статистики и теории оптимизации [1-3]. Это продемонстрировано, в частности, в работе [4], посвященной разработке метода оценки риска дополнительного простоя судна под грузовыми операциями из-за ограниченной надежности перегрузочных машин.

Для оценки значений параметров производственного процесса стивидорной компании необходимо располагать научно обоснованными методами расчета вероятностных показателей отдельных его подсистем и элементов. В настоящее время специальная литература, посвященная исследованию данной проблемы на основе теории систем массового обслуживания (СМО), работающих в случайной среде, весьма обширна [5-10].

Отметим, что альтернативой аналитическому подходу для исследования работы терминала стивидорной компании, который используется в данной работе, служат методы имитационного моделирования, которые широко применяются в зарубежной практике проектирования и анализа работы портовых терминалов [11-12].

Цель и задачи исследования. *Объект исследования* – информационные потоки, порождаемые процессом обработки транспортных средств на терминале стивидорной компании и отказы перегрузочного оборудования и его восстановления.

Целью данной работы является разработка организации сбора и обработки статистической информации о режимах эксплуатации портового перегрузочного оборудования, необходимая для прогнозирования вероятности простоя судов в результате внезапных отказов оборудования.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить такие задачи:

- 1) определить условия формирования информационных потоков;
- 2) построить вероятностную модель функционирования терминала стивидорной компании методами теории массового обслуживания;
- 3) разработать методы расчета вероятностных показателей производственного процесса.

Материалы и методы исследования условий формирования информационных потоков, определяющих возможность проведения оценки вероятностных показателей производственного процесса стивидорной компании.

Определение условий формирования информационных потоков. В современных условиях информационное обеспечение стало важной областью в управлении производственным процессом и эксплуатации портовых перегрузочных машин, которое состоит в сборе и переработке информации, необходимой для принятия обоснованных управленческих решений. Передача информации о наличии судов и подвижного состава под обработку, о ходе погрузо-разгрузочного процесса, о местоположении машин, их техническом состоянии, и взаимный обмен информацией между всеми взаимосвязанными подразделениями стивидорной компании является основой формирования информационных потоков в производственной среде.

Рассматривая информационные потоки, выделим две необходимые составляющие:

- показатели качества информации;
- техническое и технологическое сопровождение информационного потока.

Для производственного процесса стивидорной компании главными показателями качества информации являются содержательность, своевременность и точность.

Содержательность и точность информации зависит от многих факторов, связанных с изменениями внутренней среды, происходящими в результате производственной деятельности стивидорной компании. К таким, в частности, относятся изменения связанные с уровнем организации погрузо-разгрузочных работ, организацией технической эксплуатации портового перегрузочного оборудования, а также возможностью его внезапных отказов и последующих восстановлений. Своевременность, в первую очередь, обеспечивается применением современных методов управления производством, а также наличием технического и технологического сопровождения информационного потока.

К техническому и технологическому сопровождению информационных потоков в портовой производственной среде можно отнести:

1) организацию ведения различных баз данных (общей информации о перегрузочных машинах, о режимах и условиях работы, об отказах, о технико-экономической информации и т.д.);

2) организацию качественного статистического учета использования во времени перегрузочных машин (и даже их наиболее важных узлов), потоков, отказов и восстановлений этих машин;

3) внедрение средств автоматизации и новых информационных технологий;

4) создание единого информационного пространства для всех участников производственного процесса.

Немаловажным фактором, является накопление данных с целью их последующей обработки.

В результате появляется возможность использования наукоемких методик прогнозирования и управления производственным процессом с помощью методов математической теории надежности на основе статистической обработки информации.

Для исследования вопроса рассмотрим случай, когда транспортные потоки, прибывающие на терминал стивидорной компании (портовый перегрузочный комплекс), взаимодействуют между собой по складскому варианту. Отметим, что в чисто математическом плане эта задача более сложна, чем в случае прямого варианта взаимодействия транспортных потоков, где можно использовать традиционный математический аппарат теории массового обслуживания – цепи Маркова, полумарковские процессы и др. [10]. Как отмечено в [7] для складского варианта необходимо использовать более общие и сложные типы случайных процессов – марковские процессы со сносом и их модификации.

Нахождение вероятностных показателей производственного процесса стивидорной компании при складском варианте взаимодействия потоков транспортных средств. Рассмотрим портовый перегрузочный комплекс (ППК), включающий один причал и склад, на который прибывает для выгрузки однородного груза поток груженых судов. Выгрузка груза с судов производится с помощью N параллельно работающих технологических линий, причем производительность любой

линии равна Π_1 . Таким образом, общая производительность всех линий равна $M\Pi_1$. Весь выгружаемый из судна груз попадает непосредственно на склад, откуда он вывозится равномерно со скоростью $U < M\Pi_1$ (если склад не пуст). Вместимость склада предполагается достаточной большой, так что мы будем пренебрегать вероятностью полного заполнения складской емкости и можем возникнуть в связи с этим дополнительным простоем судов. Линии предполагаются ненадежными в рабочем состоянии, причем любая линия независимо от других линий с вероятностью $\alpha\Delta t + o(\Delta t)$ в интервале времени $(t, t + \Delta t)$ выходит из строя и немедленно после отказа начинает восстанавливаться.

В малом интервале времени $(t, t + \Delta t)$ происходит завершение восстановления одной линии с вероятностью $b\Delta t + o(\Delta t)$.

Грузоподъемности судов предполагаются взаимонезависимыми случайными величинами, распределенными по показательному закону со средним значением g . Поток судов, прибывающих под выгрузку, описывается моделью однородного пуассоновского процесса с интенсивностью λ .

Производственные системы описанного типа в монографии [7] названы транспортно-складскими системами (ТСС). В таких системах осуществляется взаимодействие потока ТС с непрерывным видом транспорта (см. рисунок). Если считать, что поток ТС, вывозящий со склада груз, образован ТС с относительно небольшой (по сравнению с судами) грузоподъемностью, причем интервалы времени между прибытием соседних ТС весьма малы, то приближенно такой поток можно считать равномерным.

Поведение описанной ТСС в любой момент времени может быть описано следующим случайным вектором:

$$(v(t), n(t), \xi(t)),$$

где $v(t)$ – число судов, находящихся в очереди к причалу и под выгрузкой в момент t ;

$n(t)$ – число работоспособных линий в момент t ;

$\xi(t)$ – количество груза, находящегося в момент t на складе.

В силу сделанных выше предположений векторный случайный процесс $(v(t), n(t), \xi(t))$ относится к классу однородных марковских процессов со сносом [7], определен над фазовым пространством состояний

$$\Omega = S \times [0, \infty),$$

где $S = \{(k, i) : k = 0, 1, 2, \dots; i = 0, 1, \dots, N; k + i > 0\}$.

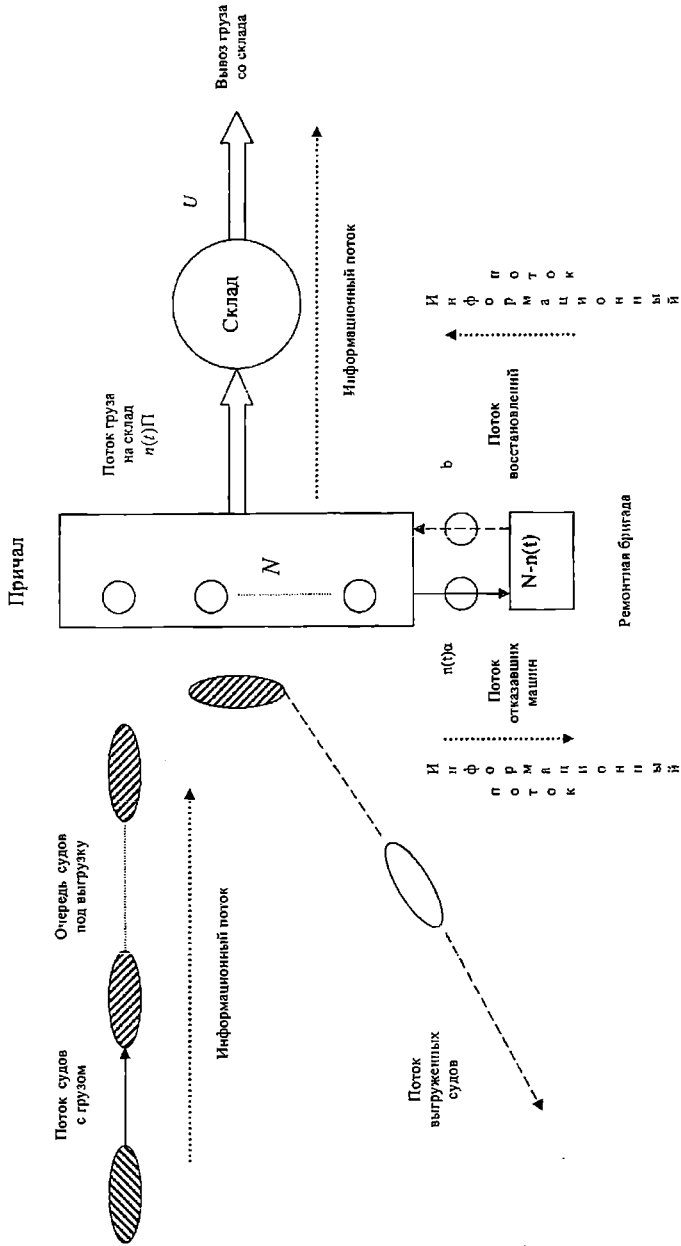


Рис. Структурная схема ТСС с ненадежными технологическими линиями

Пусть m – целое число, определяемое условием

$$m\Pi_1 \leq U < (m+1)\Pi_1,$$

причем $m=0, 1, \dots, N-1$. Введем следующее разбиение множества S :

$$S = S^+ \cup S^- \cup S^0,$$

где

$$S^+ = \{(k, i) : V_i < 0, k = 1, 2, \dots; i = 0, 1, \dots, m\} \cup$$

$$\{(0, i) : i = 1, 2, \dots, N\},$$

$$S^0 = \begin{cases} (k, m) : k = 1, 2, \dots, & \text{если } m = U/\Pi_1 \\ \emptyset, & \text{если } m < U/\Pi_1 \end{cases}$$

$$e(k) = 1, \quad \text{если } k > 0, e(0) = 0; V_i = i\Pi_1 - U.$$

Обозначим

$$q_{ki}(x) = \lim_{t \rightarrow x} P \{v(t) = k, n(t) = i, x < \xi(t) < x + dx\} / dx$$

$$(k, i) \in S, x \geq 0,$$

$$P_{ki}^- = \lim_{t \rightarrow x} P \{v(t) = k, n(t) = i, \xi(t) = 0\},$$

$$(k, i) \in S^- \cup S^0.$$

Для нахождения функций $q_{ki}(x)$ и постоянных P_{ki}^- можно вывести систему обыкновенных дифференциальных уравнений и граничных условий методом, изложенным в [7]. Эта система имеет следующий вид:

$$Uq'_{oi}(x) = -[\lambda + (N-i)i]q_{oi}(x) + i\mu q_{li}(x) + b(N-i+1)q_{o,i-1}(x), \quad (1)$$

$$x > 0, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$V_i q'_{ki}(x) = [\lambda + i(\mu + a) + be(N-i)]q_{ki}(x) + \lambda q_{k-1,i}(x) + a(i+1)e(N-i)q_{k,i+1}(x) + be(i)q_{k,i-1}(x) + i\mu q_{k+1,i}(x), \quad x > 0, \quad (2)$$

$$k = 1, 2, \dots; \quad i = 0, 1, \dots, N;$$

$$(i\Pi_1 - U)q_{li}(0) = \lambda P_{oi}^-, i = m+1, m+2, \dots, N \quad (3)$$

$$[(m+1)\Pi - U]q_{k,m+1}(0) = bP_{km}^-, k = 1, 2, \dots \quad (4)$$

$$-Uq_{oi}(0) = -(\lambda + b)P_{oi}^- + be(i-1)P_{o,i-1}^- + i\mu P_{li}^-, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (5)$$

$$-Uq_{oi}(0) = -[\lambda + be(N-i)]P_{oi}^- + bP_{o,i-1}^-, \quad i = m+1, m+2, \dots, N \quad (6)$$

$$\begin{aligned} [e(k)i\Pi - U]q_{ki}(0) &= -[\lambda + i\mu + iae(k) + be(n-i)]P_{ki}^- + \\ &+ \lambda P_{k-1,i}^- + i\mu P_{k+1,i}^- + be(i)P_{k,i-1}^-, \\ k &= 1, 2, \dots; \quad i = 0, 1, \dots, m; \quad k+i > 1. \end{aligned} \quad (7)$$

где $\mu = \Pi_1/g$.

Условие нормировки для системы (2)-(7) имеет вид

$$\sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^N P_{ki}^- + \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^N \int_0^{\infty} q_{ki}(x) dx = 1 \quad (8)$$

$k+i > 0 \qquad k+i > 0$

Обсуждение результатов нахождения вероятностных показателей производственного процесса стивидорной компании. Определение условий организации информационного обеспечения в производственной среде стивидорной компании создает возможность использования наукоемких методик прогнозирования и управления производственным процессом с помощью методов математической теории надежности, на основе статистической обработки информации. Предложенный выше метод оценки вероятности работоспособного состояния производственного процесса при складском варианте работ учитывает переменный режим использования перегрузочного оборудования, определяемый неравномерностью прибытия транспортных средств под обработку.

С помощью решения граничной задачи (1)-(8) можно найти ряд основных показателей эффективности работы терминала стивидорной компании и условие его устойчивой работы в частности:

1) вероятность работоспособного состояния терминала в произвольный момент времени

$$P_{pao} = 1 - \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^{\infty} q_{ko}(x) dx - \sum_{k=1}^{\infty} P_{ko}^-; \quad (9)$$

2) среднее число работоспособных линий в произвольный момент времени

$$\bar{N} = \lim_{t \rightarrow \infty} Mn(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=1}^N i \int_0^{\infty} q_{ki}(x) dx + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^m iP_{ki}^- + \sum_{i=1}^N iP_{oi}^-; \quad (10)$$

3) среднее число судов, находящихся на терминале

$$\bar{L} = \lim_{t \rightarrow \infty} Mv(t) = \sum_{k=1}^{\infty} k \sum_{i=0}^N \int_0^{\infty} q_{ki}(x) dx + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=0}^m P_{ki}^-; \quad (11)$$

4) условие существования установившегося режима работы терминала

$$\sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=1}^N (i\Pi_1 - U) \int_0^{\infty} q_{ki}(x) dx + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=0}^m (i\Pi_1 - U) P_{ki}^- - U \sum_{i=1}^N iP_{oi}^- < 0. \quad (12)$$

Выводы. В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Проведен анализ формирования информационных потоков производственного процесса стивидорной компании, который позволил определить основу формирования информационных потоков и условия, их характеризующие. Для этого рассмотрены две необходимые составляющие: качество информации, техническое и технологическое сопровождение. Обозначено влияние информационных потоков на возможность проведения оценки работоспособного состояния производственного процесса. При этом показана возможность прогнозирования и управления производственным процессом с помощью наукоемких методик на основе информационных потоков.

2. Сформулирована и решена задача представления терминала стивидорной компании в виде многоканальной системы массового обслуживания (СМО) специального вида с ненадежными каналами.

3. Используя систему уравнений, можно найти ряд следующих основных показателей эффективности работы терминала стивидорной компании и условие его устойчивой работы: вероятность работоспособного состояния терминала в произвольный момент времени; среднее число работоспособных линий в произвольный момент времени; среднее число судов, находящихся на терминале; условие существования установившегося режима работы терминала.

4. Практическое применение предложенной вероятностной модели возможно в реальной производственной деятельности стивидорной компании для более эффективного управления производственным процессом и прогнозирования его работоспособного состояния.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Надежность технических систем: Справочник / Ю.К.Беляев, В.А.Богатырев, В.В.Болотин и др.; Под ред. И.А.Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.*
2. *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965.*
3. *Воевудский Е. Н. Стохастические модели в проектировании и управлении деятельностью портов [Текст] / Е.Н. Воевудский, М.Я. Постан. – М.: Транспорт, 1987. – 318 с.*
4. *Постан М.Я., Корниец Т.Е., Москалюк Л.В. Разработка метода оценки риска дополнительного простоя судна под грузowymi операциями из-за ограниченной надежности перегрузочных машин / М.Я. Постан, Т.Е. Корниец, Л.В. Москалюк // Технологический аудит и резервы производства: междунар. научн. журнал. – Харьков, 2014. – № 5/2 (19). – С. 69-75.*
5. *Гнеденко Б.В. Введение в теорию массового обслуживания. – 3-е изд., испр. и доп. [Текст] / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: КомКнига, 2005. – 400 с.*

6. *Постан М.Я. Многоканальная обслуживающая система с постоянным временем обслуживания в случайной среде [Текст] / М.Я. Постан // Економічна кібернетика. – 2006. – № 3-4 (39-49). – С. 62-68.*
7. *Постан М.Я. Экономико-математические модели смешанных перевозок / М.Я. Постан. – Одесса: Астропринт, 2006. – 376 с.*
8. *Башарин Г.П. Матричный метод нахождения стационарного распределения для некоторых нестандартных систем массового обслуживания / Г.П. Башарин, А.И. Громов // Автоматика и телемеханика. – 1978. – № 1. – С. 29-38.*
9. *Mennis E., Platis A., Lagoudis I., & Nikitakos N. (2008). Improving port container terminal efficiency with the use of Markov theory // Maritime Economics & Logistics. – 2008. – 10(3). – P. 243-257.*
10. *Корниец Т.Е. Оценка вероятности простоя транспортных средств при изменяющихся условиях портового производственного процесса / Т.Е.Корниец // Технологический аудит и резервы производства: междунар. научн. журнал – Харьков: 2015. – № 5/5 (25). – С. 61-69.*
11. *Legato P., Mazza R.M. Berth planning and resources optimization at a container terminal via discrete event simulation // European Journal of Operational Research. – 2001. – Vol. 133. – Issue 3. – P. 537-547.*
12. *Kia M., Shayan E. & Ghotb F. Investigation of port capacity under a new approach by computer simulation // Computer & Industrial Engineering. – 2002. – Vol. 42. – Issues 204. – P. 533-540.*

Стаття надійшла до редакції 15.11.2016

Рецензент – доктор економічних наук, професор, академік ТAU і Міжнародної академії наук екології, безпеки людини та природи, член Американського математичного товариства, завідувач кафедри «Менеджмент, маркетинг і логістика» Одеського національного морського університету **М.Я. Постан**

УДК 69:005.216.7

А.В. Беспалова, А.И. Кныш, О.П. Дашковская, О.А. Файзулина

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ И ОЦЕНКЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Производительность машин является одним из важнейших технико-экономических показателей. Реальная производительность машин – случайная величина вследствие влияния многих факторов, поэтому конкретная производительность в каждом случае будет различной. На основе опыта эксплуатации механизмов можно установить вероятность соблюдения нормативов. Появляется возможность более обоснованно рассчитывать требуемое количество энергоресурсов машин, емкость строительных операций, потери вспомогательных операций.

Ключевые слова: энергоэффективность, строительная техника, надежность организационного процесса, вариативно-проектная модель.

Продуктивність машин є одним з найважливіших техніко-економічних показників. Реальна продуктивність – випадкова величина внаслідок впливу багатьох чинників, тому конкретна продуктивність в кожному випадку буде різною. На основі досвіду експлуатації механізмів можна встановити ймовірність дотримання нормативів. З'являється можливість більш обґрунтовано розраховувати необхідну кількість енергоресурсів машин, ємність будівельних операцій, втрати допоміжних операцій.

Ключові слова: енергоефективність, комплекти будівельної техніки, надійність організаційного процесу, вариативно-проектна модель.

The productivity of machines is one of the most important technical and economic indicators. Actual productivity of machines is a random value due to the influence of many factors, so certain productivity in each case will be different. On the basis of the exploitation of mechanisms you can set the probability of regulatory compliance. It becomes possible more reasonably calculate the required amount of energy resources of machines, the capacity of building operations, loss of auxiliary operations.

Keywords: energy efficiency, construction equipment, the reliability of the organizational process, variability and design model.

Введение. В данной статье представлена модель прогнозирования энергопотребления машинных комплектов при условии создания конечных продуктов строительства. Этапы построения транспортной колонны. факторы, влияющие на конечное качество энергопотребления строительного процесса, могут быть вычислены с применением теории надежности систем.

Предложен новый методический ресурс вычисления качества продукции с использованием практики организационно-технических систем строительного производственного комплекса.

Цели и задачи. Создание методологии оценки надежности работы систем, комплектов и отдельных строительных машин в условиях экономических рисков строительства.

Объекты и методы исследования. Реальные строительные процессы, применение систем, комплектов и отдельных машин в строительстве, существующая теоретическая база. Методология, методы, методики, инструментарий формирования комплектов и систем машин в строительстве.

Результаты исследований. Разработано методическое обеспечения для исследования и оценки надежности работы систем, комплектов и отдельных машин и механизмов при строительстве сооружений с использованием специальных баз данных, включающая: модели формирования систем и комплектов с учетом организационно-технологической надежности работы строительных машин; многофакторные модели влияния случайных факторов на энерготехнологическую надежность строительства.

Одним из основных факторов повышения рентабельности строительства является формирование ресурсосберегающих систем машин, которые позволят экономить материальные, энергетические и людские ресурсы при выборе систем строительных машин для возведения конкретных объектов [1-4].

Проектирование системы машин можно производить по модульному принципу, предложенному в [4-7; 8]. Процесс формирования парка машин начинается с проектирования модулей или комплектов для конкретных условий производства отдельных видов работ, например, земляных, бетонных и т.п. Далее формируются возможные варианты модулей для производства соответствующих видов работ и рассчитываются технические и экономические показатели каждого варианта. При этом основными показателями являются производительность и себестоимость выполнения заданного объема работ. По результатам оценки определяется рыночная стоимость работ и рассчитывается прибыль от применения каждого варианта модуля. На рис. 1 показана общая схема формирования ресурсосберегающих систем строительных и подъемно-транспортных машин.

Для совершенствования многовариантного проектирования систем, комплектов и парков машин формируются базы показателей строительных машин и механизмов.

В последние внесены показатели машин и механизмов применяемых при производстве строительного-монтажных работ. По каждой машине и механизму в таблицах базы данных включены их технические и экономические показатели. Причем все экономические показатели машин и механизмов в базе данных определены по единой методике.

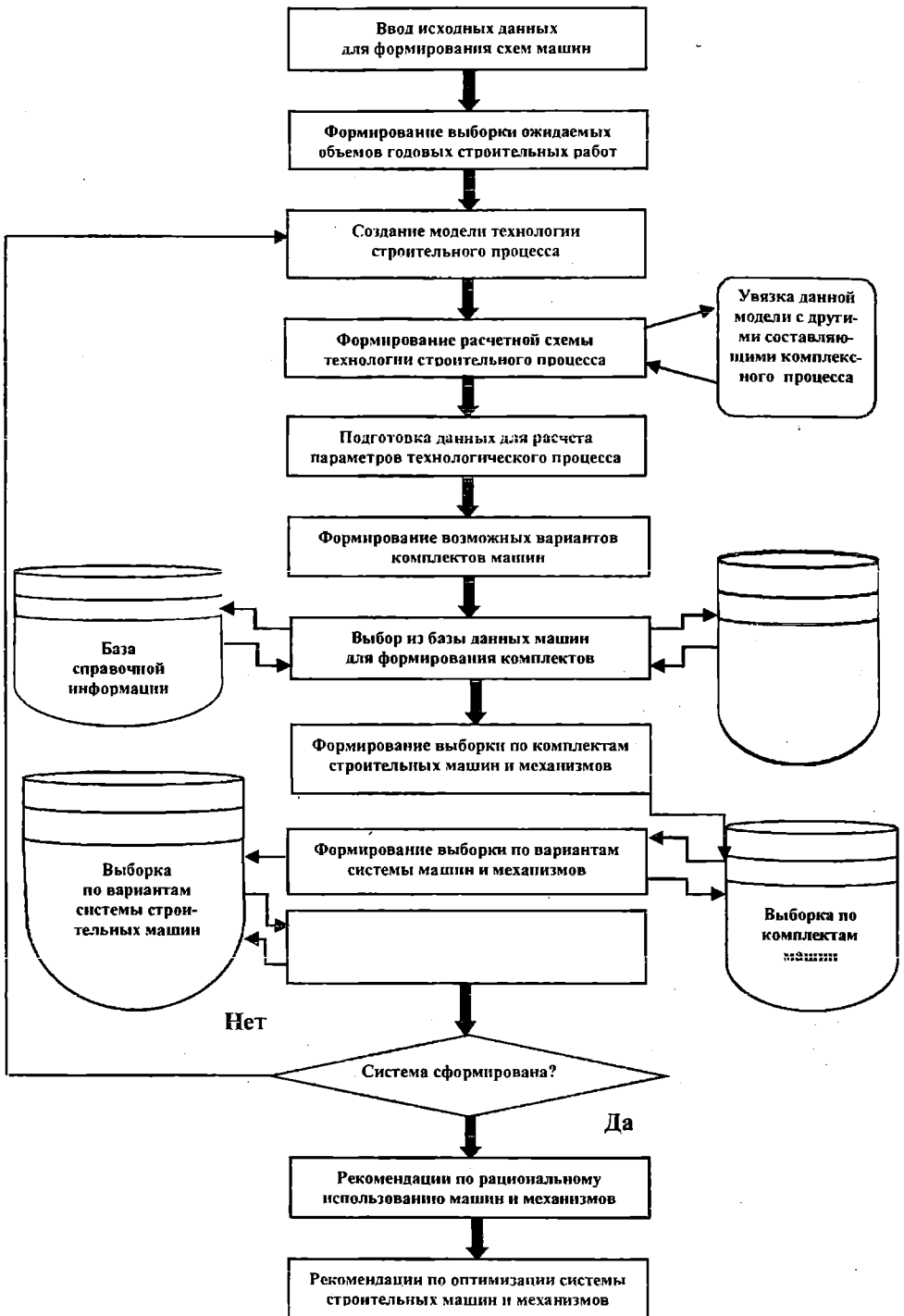


Рис. 1. Общая схема формирования систем строительных машин

На рис. 1 проілюстрована модель формування ресурсосберегаючої системи машин і механізмів з існуючого парку для використання на будівництві конкретних об'єктів. Модель дозволяє сформувати з машин варіанти систем і оцінити їх енергоефективність. Універсальність запропонованого алгоритму проектування системи машин і механізмів з урахуванням їх застосування в реальному будівництві дозволяє використовувати його для формування будь-яких модулів, комплексів і парків будівельних машин і механізмів.

Щоб оцінити цілесобразність придбання нових машин і механізмів з урахуванням уже існуючої в парку номенклатури достатньо включити їх показники в базу даних, сформувати систему і оцінити її ефективність. Передбачено три шляхи формування варіантів системи машин. Модель надає рівні ступені свободи для лізинга, аутсорсинга і оренди власними силами [9; 10].

Всі три шляхи дозволяють по єдиному алгоритму сформувати можливі варіанти використовуваної в будівництві системи машин і оцінити ефективність її використання. Однак, різке коливання цін не дає можливості скласти довгострокові прогнози на сформовані варіанти систем будівельних машин і переходу до критеріального аналізу факторів [11].

Многоякісні системи розрахунків передбачають побудову моделі енерготехнічної надійності (ЭТН) з реалізацією ймовірнісно-статистичного підходу. При визначенні ЭТН системи застосовують методи теорії надійності людина-машинних систем.

В Одеській державній академії будівництва і архітектури розроблена системотехніка ресурсозберігаючих технологічних процесів будівництва. Значительне підвищення якості будівельної продукції можуть дати лише економічні рішення, отримані при оптимізації енерготехнічних рішень.

Економічна оцінка прогресивності конструктивних, оптимізації енерготехнічних і управлінських рішень здійснюється шляхом послідовного відбору базових машин згідно з ресурсними нормами і правилами ведення технологічного процесу. В процесі відбору прослідковуються обсяги витрат енергоносіть в натуральному і умовному вираженні. Визначаються складові ланки операторів і налаштовувачів. Формуються вибірки ланок з позначенням максимальної виробки і втрат, обумовлені виробничим ризиком. Розброс значень чисельних показників витрат повинен відрізнятися мінімум на 15 %. В протилежному випадку вибірка виробничої колони вважається не дійсною, а складові парків машин необхідно підібрати склад так, щоб при формуванні комплексів завжди отримували ресурсозберігаючі системи. Для цього парк повинен бути укомплектований сучасними машинами і механізмами [12; 13]. При проектуванні нових комплексів машин неможливо отримати оптимальне проектне рішення при їх нерациональному

использовании согласно [12]. Поэтому, прежде чем оптимизировать решения машин следует провести оптимизацию проектных и организационно-технологических решений [14]. За основу отчета взяты базовые показатели наработку на отказ приводных узлов машин в совокупности с надежностью систем автоматизации. Проработка мехатроники осуществляется по известным зависимостям теории надежности. Новизна внедрения состоит в учете комбинарных связей между основными технологическими процессами и системой планового технического обслуживания. Помимо текущих связей функционального порядка применены энергозатраты-энергопотери, составляющая которых остается на отметке 16 %. Для крупных инвестиционных проектов подобный показатель ощутим не только в натуральном выражении. Графы баз данных построены таким образом, что определение «первичный» и «вторичный» показатель условны, а все ресурсы и потери показательны среди остальных индексов инвестиционного проекта. Представленная на рисунке 1 иерархия задач с первичными базами данных носит исключительно рекомендательный характер. Следовательно, комбинарный цикл инвестиционных задач носит законченный характер в условиях неопределенности информации.

По результатам показателей технико-экономических ресурсов (ТЭР) оптимизируются парки машин, формируются колонны подвижного состава, а развернутые перечни наладочных трудоемкостей рассматриваются в качестве вторичных факторов оптимизации модели.

Для успешной реализации инвестиционного проекта строительства объектов необходимо решить следующие задачи:

- обосновать эффективность инвестиционного проекта строительства зданий и сооружений;
- разработать календарные планы строительства объектов;
- установить оптимальную последовательность и сроки возведения объектов строительства;
- выполнить распределение объемов и сметной стоимости работ по объектам и периодам строительства.

При работе с неполной информацией по инвестиционному проекту необходимо построить многофакторные математические модели и рассчитать показатели инвестиционного проекта на стадии разработки этих решений (до разработки рабочей документации).

Для оценки надежности инвестиционных проектов С.М. Кузнецовым разработан комплекс поверочного программного обеспечения (ПО) управления первичными базами данных инвестиционного проекта на основе имитационной модели. Скрипты «*Invest*» [15], программы «*Setim*», «*Potok*», «*Impotok*» [16-17] реализуют комбинации неопределенности информации (рис. 2).

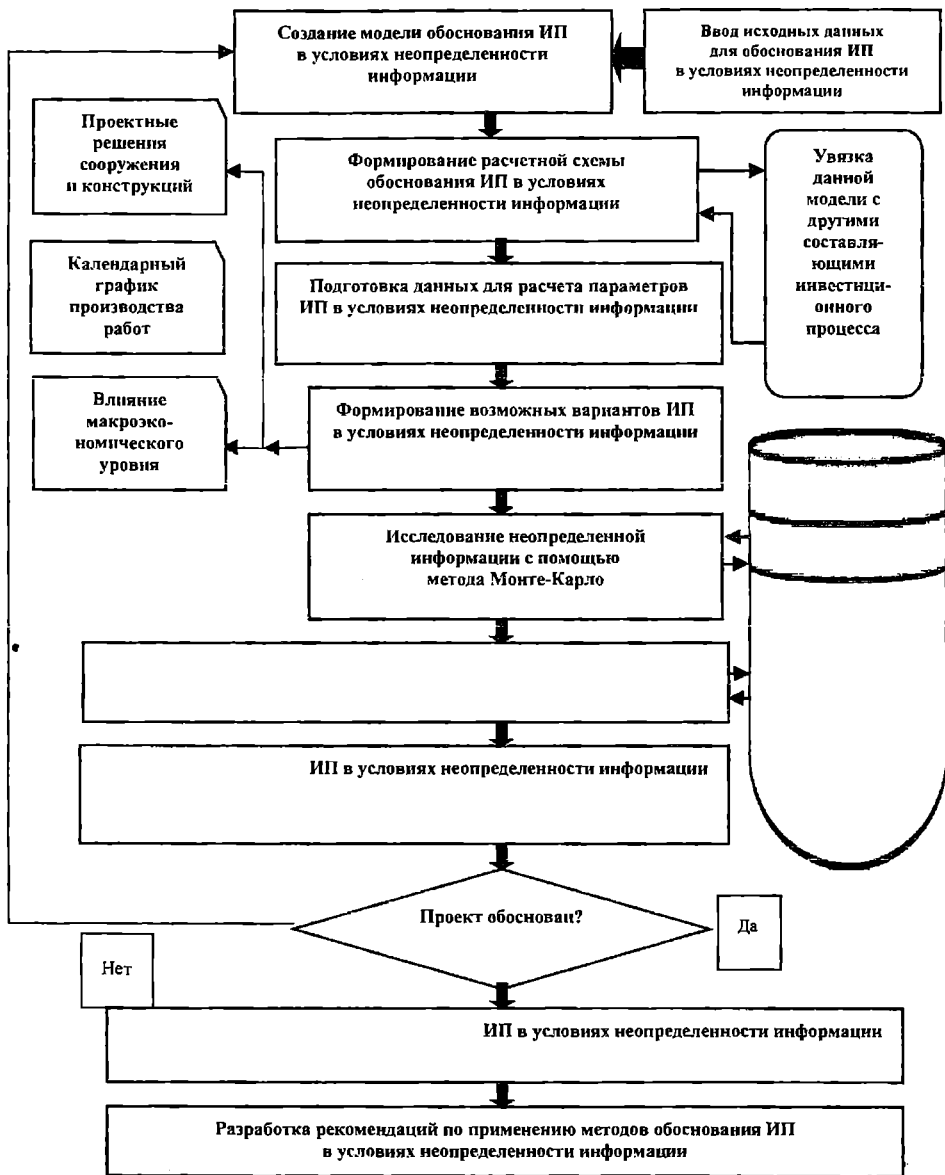


Рис. 2. Схема обоснования инвестиционных проектов

Для автоматизации прогнозирования продолжительности, стоимости и последовательности строительства в [17] проработана также имитационная модель потока и резерва. В настоящее время с помощью «Improtok» масштабируют энерготехнологическую надежность календарного планирования, сметную стоимость строительства объектов и энергорезервов строительной организации.

Проведенные в [18] исследования показали, что во всех выборках с любым процентом максимального отклонения продолжительности строительных работ оптимальная последовательность строительства объектов не изменяется. Данное условие не является обязательным и при оптимизации организационно-технологических решений необходимо каждый раз выполнять соответствующую поверку.

С помощью имитационной модели потока уточняется влияние увеличения времени выполнения отдельных работ на общую продолжительность строительства объекта, прибыли строительной организации с учетом организационно-технологической надежности строительства. В [15] приведена модель и программа «*Ekskom*» расчета организационно-технологической надежности производства работ, например, экскаваторными комплектами с фиксированными индивидуальными нормами. Алгоритм инвестиционного анализа идентичен представленному на рис. 2. Интересным расчетным моментом является системная сходимости методик на уровне не менее 80 %, что свидетельствует о завершении интеграционного процесса ПО представленного в [15-18].

Выводы. Анализ работы большинства строительных проектов показал, что случаи нерационального использования ресурсов в строительной отрасли не являются исключением. Для снижения энергоемкости строительства, повышения уровня экономии энергии предлагается ввести нормированное потребление энергии в соответствии с физическим активом понесенных затрат стройплощадки, структурировать затраты и потери ресурсов в соответствии со статусом исполняемого процесса и задействованной в нем техники. Используя наработки ПО [13-15] предлагается установить строгий регламент штрафов и стимулов по энергосбережению ресурсов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Анисимов-Спиридонов Д.Д. Модели и методы больших систем планирования и управления / Д.Д. Анисимов-Спиридонов. – М.: Наука, 1969. – 360 с.
2. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем / П.К. Анохин. – М.: АН СССР, 1971. – 61 с.
3. Анферов В.Н. Организационно-технологическая надежность эксплуатации башенных кранов / В.Н. Анферов, С.М. Кузнецов, С.И. Васильев. – Новосибирск: Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 2. – С. 35-41.
4. Лозовский А.А. Мониторинг расхода ТЭР в строительном производстве / А.А. Лозовский. – Минск: Архитектура и строительство, 2010. – № 5. – С. 74-76.

5. Беренс В. Руководство по оценке эффективности инвестиций / В. Беренс, П.М. Хавранек. – М.: ИНТЕРЭКСПЕРТ-ИНФРА, 1995. – 527 с.
6. Лозовский А.А. Энергоаудит в строительном производстве / А.А. Лозовский. – Минск: Строительная наука и техника. – 2010. – № 5 (32). – С. 71-73.
7. Болтянский В.Г. Оптимальное управление дискретными системами / В.Г. Болтянский. – М.: Наука, 1973. – 448 с.
8. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
9. Куликов Ю.А. Имитационное моделирование / Ю.А. Куликов // Моделирование и применение вычислительной техники в строительном производстве: Справочн. пособие / [Под ред. А.А. Гусакова]. – М.: Стройиздат, 1979. – 384 с.
10. Куликов Ю.А. Оценка качества решений в управлении строительством / Ю.А. Куликов. – М.: Стройиздат, 1990. – 144 с.
11. Лозовский А.А. Нормирование расхода ТЭР в строительном производстве / А.А. Лозовский, Г.В. Земляков. – Минск: Строительная наука и техника. – 2010. – № 5 (38). – С. 12-17.
12. Комаров А.А. Обоснование применения новых материалов, конструкций, машин и механизмов при строительстве сооружений из сборных элементов / А.А. Комаров, С.М. Кузнецов, Р.М. Брызгалова. – М.: Изв. вузов. Строительство. – 1999. – № 10. – С. 54-57.
13. Круглова Н.Н. Концепция формирования парка машин / Н.Н. Круглова, К.С. Кузнецова, С.М. Кузнецов. – Новосибирск: Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2006. – № 12. – С. 3-5.
14. Karsten P. Anwendung fialogorientierter Projektierungsmethoden / P. Karsten, H. Kreitzschar. – Roinnof: Bauplanung Bautechnik. – 1981. – № 5. – P. 17-24.
15. Кузнецов С.М. Методика оценки надежности инвестиционных проектов / С.М. Кузнецов, О.А. Легостаева, С.Н. Ячменьков. – М.: Экономика ж.д. транспорта. – 2006. – № 2. – С. 20-26.
16. Сироткин Н.А. Оптимизация продолжительности строительства объектов / Н.А. Сироткин, С.М. Кузнецов, В.П. Перцев. – СПб.: Транспортное строительство, 2007. – № 5. – С. 16-17.

17. Сироткин Н.А. Оценка обоснованности очередности строительства объектов методом имитационного моделирования / Н.А. Сироткин, С.М. Кузнецов. – М.: Изв. вузов. Строительство, 2007. – № 1. – С. 81-86.
18. Кузнецов С.М. Оценка организационно-технологической надежности строительства зданий и сооружений / С.М. Кузнецов, Н.А. Сироткин, О.А. Легостаева, С.Н. Ячменьков. – М.: Изв. вузов. Строительство, 2006. – № 2. – С. 47-52.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2016

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор кафедри ТКМтаМ Одеського національного політехнічного університету, академік Академії Безпски та основ здоров'я **В.Г. Лебедєв**

УДК 519.711

А.М. Вітюк, М.В. Вітюк, В.М. Машін

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ
ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ
«КІЛЬКІСНИЙ ЗВ'ЯЗОК СТРУКТУРА-ВЛАСТИВІСТЬ»**

Застосування нечіткої логіки до модельної вибірки об'єктів для вирішення задачі «зв'язок структура-властивість» дозволило виділити підвибірки активних, неактивних та малоактивних об'єктів та сформуванати кластери активних і неактивних об'єктів, максимально рознесени один від одного в багатовимірному просторі описових ознак – тим самим, відповідно, підвищити якість розпізнавання досліджуваної вибірки. Дисперсійний аналіз показав статистичну значимість середніх значень активностей об'єктів кожної з трьох підвибірок. Це дозволило в якості вимірювача міжкласової відстані в просторі описових ознак використати модифікований тренд-вектор. Методом тренд-вектора показано, що в багатовимірному просторі ознак кластер малоактивних об'єктів знаходиться ближче до кластеру активних об'єктів, ніж до кластеру неактивних об'єктів. Тому висловлено припущення, що структурні ознаки малоактивних об'єктів вносять певний внесок у формування досліджуваного відгуку. Інформацію про внесок малоактивних об'єктів можна витягти, користуючись більш поглибленими методами вирішення поставленого завдання для конкретної вибірки реальних об'єктів.

Ключові слова: кількісний зв'язок структура-властивість (активність), нечітка логіка, описові ознаки, відгук системи, навчальна вибірка, центри систем об'єктів заданої активності у багатовимірному просторі ознак, модифікований тренд-вектор.

Применение методологии нечеткой логики к модельной выборке объектов для решения задачи «связь структура-свойство» позволило выделить подвыборки активных, неактивных и малоактивных объектов и сформировать кластеры активных и неактивных объектов, максимально разнесенные друг от друга в многомерном пространстве описательных признаков – тем самым, соответственно, повысит качество распознавания исследуемой выборки. Дисперсионный анализ показал статистическую значимость средних значений активностей объектов каждой из трех подвыборок. Это позволило в качестве измерителя межклассового расстояния в пространстве описательных признаков использовать модифицированный тренд-вектор. Показано, что в многомерном признаковом пространстве кластер малоактивных объектов находится ближе к кластеру активных объектов, чем к кластеру неактивных объектов и высказано предположение, что структурные признаки малоактивных

объектов вносят определенный вклад в формирование исследуемого отклика который можно извлечь, пользуясь более углубленными методами решения поставленной задачи для конкретной выборки реальных объектов.

Ключевые слова: количественная связь «структура-свойство», нечеткая логика, описательные признаки, отклик системы, обучающая выборка, центры систем объектов заданной активности в многомерном признаковом пространстве, модифицированный тренд-вектор.

The use of fuzzy logic to model non-optimal set of test objects for solving the problem «structure-property relationship» allowed to form sub-samples of active, inactive, and low active objects. Its allows to create clusters of active and inactive objects, maximally separated from each other in the multidimensional space of descriptive signs – thus improve the quality of the recognition of the investigated objects. Analysis of variance showed a statistical significance of average values of activity of objects in each of the three sub-samples. This allowed to use modified trend-vector as a distance measure in the space of descriptive signs. The method of trend-vector showed that in a multidimensional descriptive space cluster of low active objects is located close to the cluster of active objects than to the cluster of inactive objects. It is suggested that the structural features of low-level objects contributes to the formation of the test response. The information about the contribution of low-level objects can be found by using more in-depth techniques to solve this problem for a specific sample of real objects.

Keywords: structure-activity relationship, fuzzy logic, descriptive signs, the response of the system, training sample, centers of systems of objects with given activity in a multi-dimensional signs space, modified trend vector.

В настоящее время разработка методов поиска количественных связей «структура объекта (состав, строение)-его активность (свойство)», то есть, решение задачи QSA(P)R («Quantitative Structure-Activity (Property) Relationship», англ.) выделилась в отдельное научное направление, решение которого имеет важное значение для современных технологий. Сначала задача QSAR была сформулирована химиками. Решение этой задачи позволяет без синтеза молекул некоторого химического ряда прогнозировать их отклик (например, биологическую активность) по заданным структурным характеристикам и проводить оценку свойств новых соединений вне эксперимента[1]. Решение QSAR задачи имеет все специфические черты теории распознавания образов и поэтому подходы, которые используются для решения этой задачи, применяются в решении не только химико-биологических задач, но и многих технических задач [2-3].

QSAR-моделирование позволяет проводить обобщение разноплановых экспериментальных данных, накапливаемых в компьютерных структурных базах данных и получать ответы на вопросы о том, как следует оптимизировать решение поставленной задачи .

Успешное применение теории распознавания образов требует корректного построения обучающей выборки – то есть, набора i объектов, для каждого из которых, исходя из значения его отклика (A_i), известно *a priori* к которому из нескольких классов он принадлежит,

В решении QSAR задачи обучающая выборка обычно состоит из двух подвыборок: активных объектов (такую выборку из А-элементов, для которых рассматриваемый отклик $A_i > A_{zp}$, будем называть А-выборкой) и подвыборки неактивных объектов (Н-выборка, образованная Н-элементами для которых $A_i < A_{zp}$). Понятие «разделитель» A_{zp} формулируется исследователем на основе эмпирически накопленных данных и в процессе решения конкретной практической задачи QSAR-задачи понятие «разделителя» и его численное выражение A_{zp} могут быть изменены.

Для описания структуры объекта обычно используются два вида характеристик: локальные, показывающие наличие определенного фрагмента в составе объекта и интегральные, характеризующие весь объект в целом. Для описания исследуемой выборки объектов применяется многомерное признаковое пространство, при этом используются различные шкалы измерений описательных признаков S_i , и отклика A_i , в том числе и бинарная – присутствие/отсутствие данного признака S_{ij} (индекс j – нумерует признаки) кодируется, соответственно, единицей или нулем.

Известные методы преобразования многомерного признакового пространства в двумерное, и его классификации [4-6] основаны на разделении исследуемой выборки объектов на А- и Н-подвыборки и требуют корректного подхода к заданию «разделителя» A_{zp} .

Фундаментальный закон естествознания – принцип целостности – утверждает, что в биосфере любой объект является единой коммуникативной системой, в которой «все связано со всем» [7]. Отсюда следует, что парные корреляционные связи между описательными признаками S_j i -того объекта уменьшают информативность взаимно коррелирующих признаков и затрудняют использование классических регрессионных методов нахождения функциональной связи «структура-свойство».

Привлекательной особенностью методологии нечеткой логики [8-10] является определение принадлежности объекта к заданному классу на основе нечеткого описания признаков каждого объекта с использованием лингвистических переменных, отражающих взаимоотношение некоторого признака с остальными признаками данного объекта. При введении лингвистических переменных исследователем используется *a priori* информация. Методология нечеткой логики дает возможность «обратной связи» между объектом и субъектом путем эволюционного «переобучения» (переформатирования) А- и Н-подвыборки по результатам предыдущего этапа решения данной задачи, при неизменности коренного алгоритма решения задачи. В частности, такое «переобучение» исходной выборки может состоять из выделения из неё подвыборок с заданным интервалом величины отклика. В методологии нечеткой логики возможна

ситуация, когда объект может принадлежать к по своим описательным структурным признакам двум классам активности, т.е. множества значеный классов пересекаются. Из этого следует, что при распознавании образов следует рассматривать также промежуточный класс малоактивных объектов, которые согласно принципу целостности, могут нести некоторую информацию о влиянии структуры на данный отклик.

Целью настоящей работы является использовать методологию нечеткой логики для образования кластеров объектов, центры систем которых максимально разнесены друг от друга в многомерном пространстве описательных признаков, то есть, повысить качество разделения объектов.

В качестве меры разделения предлагается использовать модифицированный метод тренд-вектора. Тренд-вектор первоначально был предложен для решения задачи QSAR [4-5], поскольку цифровой материал в химии является отображением различных законов, которые описывают свойства соединений, структурную информацию молекул и т.д. В дальнейшем тренд-вектор нашел применение для решения разнообразных задач, в том числе и прикладных технических. Эвристичность метода тренд-вектора следует из того, что в нем также используется основная идея теории распознавания образов – разнесение объектов на два класса А и Н тренд-вектор является аналогом известного вектора дипольного момента p в электростатике, Модуль вектора p равен произведению расстояния между центрами двух систем электрических зарядов (одинаковых по модулю, но разноименных по знаку) умноженному на величину заряда системы.

Аналогично этому, будем рассматривать модифицированный тренд-вектор, соединяющий в многомерном пространстве описательных признаков центры систем L- и M- подвыборок, а за численное значение тренд-вектора (T) примем топологическое расстояние (Δr) между центрами L- и M- систем, умноженное на разность средних величин активностей объектов этих систем

$$T = \Delta r (A_{cp}^L - A_{cp}^M) \quad (1)$$

Методология нечеткой логики применена к модельной «неоптимально» спланированной выборки, состоящей из 24 гипотетических объектов, описанных семью «структурными» признаками. В качестве отклика рассматривалась некая «активность» А объектов (табл.1). В табл. 1 исследуемые образцы расположены по убыванию их активности, следовательно, номер образца можно рассматривать как убывающий ранг его активности (абстрагируясь от понятия связанных рангов).

Поскольку для описания структуры (состава) S реальных объектов используются различные шкалы измерений с широким интервалом численных значений, то описательные признаки S объектов «модельной» выборки находились в единичном интервале $[0,1]$, при этом использовалось преобразование

$$S^{\circ} = (S_{max} - S_i)/(S_{max} - S_{min}), \quad (2)$$

где S_{max} и S_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения j -того описательного признака i -го объекта.

Таблица 1

Описательные признаки и активность модельных объектов

Но- мер п/п	Описательные признаки							Активность А
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
1	1	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	26
2	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	0,3	25
3	0,8	0,4	0,6	0,2	0,3	0,3	0,6	24
4	0,4	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	24
5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,8	0,6	0,5	23
6	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0,4	0,4	22
7	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	22
8	0,4	0,5	0,5	0,6	0,3	0,8	0,3	22
9	0,3	0,5	0,4	0,7	0,6	0,6	0,8	21
10	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	20
11	0,5	0,7	0,5	0,7	0,6	0,5	0,6	20
12	0,6	0,7	0,7	0,8	0,5	0,6	0,6	18
13	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,4	18
14	0,3	0,6	0,3	0,7	0,6	0,6	0,5	17
15	0,5	0,3	0,7	0,6	0,4	0,6	0,7	17
16	0,5	0,4	0,5	0,5	0,8	0,7	0,3	17
17	0,7	0,6	0,7	0,5	0,3	0,7	0,3	16
18	0,6	0,5	0,4	0,7	0,5	0,4	0,4	12
19	0,8	0,6	0,3	0,6	0,7	0,5	0,3	10
20	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	8
21	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,5	0,3	6
22	0,1	0,4	0,3	0,5	0,7	0,4	0,5	6
23	0,4	0,2	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	4
24	0,5	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,4	4

Таблиця 2

Ранговая корреляция (ρ) по Спирмену между описательными признаками I-VII исходной выборки и ранговая корреляция ($\rho_{\text{Акт}}$) их с активностью

	Описательные признаки							$\rho_{\text{Акт}}$
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
I	1,000	0,374	0,280	-0,029	-0,015	-0,088	-0,020	0,262
II	0,374	1,000	0,247	0,615	0,517	0,496	0,371	0,300
III	0,280	0,247	1,000	0,263	-0,135	0,342	0,268	0,223
IV	-0,029	0,615	0,263	1,000	0,540	0,543	0,345	0,069
V	-0,015	0,517	-0,135	0,540	1,000	0,412	0,330	0,086
VI	-0,088	0,496	0,342	0,543	0,412	1,000	0,140	0,148
VII	-0,020	0,371	0,268	0,345	0,330	0,140	1,000	0,260

О «неоптимальности» сконструированной базы исходных данных свидетельствует табл. 2 (выделены значимые коэффициенты корреляции), которая показывает отсутствие описательных признаков индивидуально значимо коррелирующих с активностью объектов (для $N = 24$ на уровне $\alpha = 0,05$ $\rho_{\text{крит}} = 0,344$ [11]) и наличие взаимно коррелирующих описательных признаков.

На первом этапе решения поставленной задачи модельную выборку подвергли многомерному кластерному анализу.

Дендрограмма (рис. 1) на основе матрицы сходства пар объектов изображает взаимные связи между описательными признаками объектов исследуемой выборки. Оценивалось евклидово расстояние между парами исследуемых объектов в семимерном описательном пространстве.

Из рис.1 видно, что в исследуемой выборке имеются объекты, которые в семимерном признаковом пространстве «топологически» близки друг к другу, но характеризуются резко отличающейся номерами (активностью). Например, топологические расстояния между объектами № 2 и № 18, № 4 и № 13 менее 0,2, тогда, как топологическое расстояние между наиболее активными объектами № 1 и № 3 составляет 3,8.

Методом кластер-анализа провели разделение исследуемых объектов на два класса, а затем и на три класса. При методе «k-средних» каждый объект относится к тому кластеру, к центру которого он ближе всего для того чтобы минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центра данного кластера.

При делении на два кластера было получено, что кластер № 1 состоит из 16 объектов (№ 2, 4, 5, 8-19, 22 со средней активностью $A_{cp} = 17,9$), а кластер № 2 состоит из 8 объектов (№ 1, 3, 6, 7, 20, 21,23, 24; $A_{cp} = 14,5$).

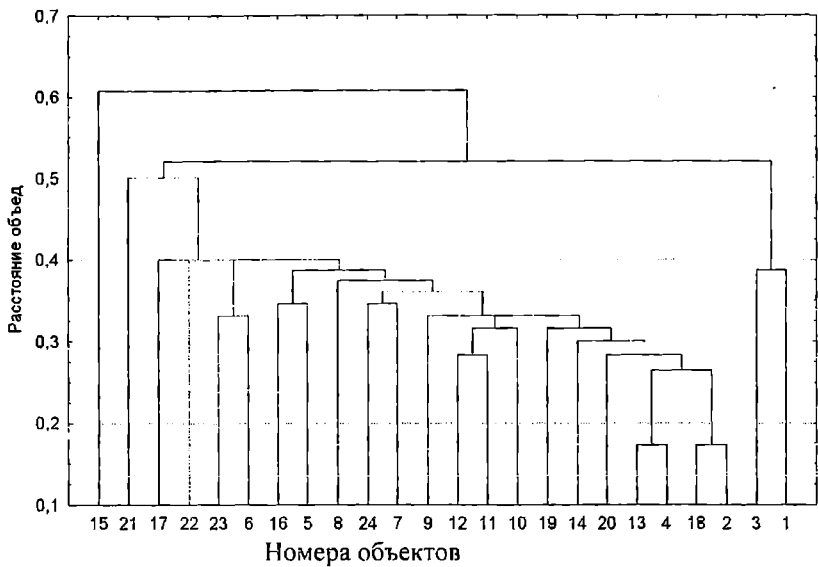


Рис. 1. Иерархическая классификация исследуемых 24 объектов

• При делении на три кластера были получены: кластер № 1 содержит 6 объектов (№ 3, 6, 7, 21, 23, 24; $A_{cp}=13,7$), кластер № 2 содержит 11 объектов (№ 1, 2, 4, 5, 8, 13.16-20; $A_{cp}= 18,3$), кластер № 3 содержит 17 объектов (№ 9-12, 14, 15, 22; $A_{cp}= 18$).

Однако, дисперсионный анализ для проверки нескольких средних по одному признаку (активности) показал, что различия в средних активностях выделенных кластер-анализом подвыборок статистически не значимы и принимается нулевая гипотеза, о том, что средние активности объектов подвыборок равны. Следовательно, применение кластер-анализа для разбиения исследуемой выборки на подвыборки активных и неактивных объектов не приводят к статистически значимым результатам.

Методология нечеткой логики в отличие от метрических алгоритмов распознавания образов (например, метод k-ближайших соседей в кластер-анализе) использует описание структуры объекта, при котором каждый структурный признак связан с остальными признаками данного объекта логическими переменными. Такое описание структуры объекта обладает «синергизмом» совместного использования локальных и интегральных описательных признаков объекта, что повышает качество описания структуры объекта в целом. Использование методологии нечеткой логики, позволяет *a priori* допустить, что в модельной выборке присутствуют объекты, которые по величине своей активности не могут быть «четко» приписаны к определенному классу. Действительно, методология нечёткой логики позволила сформировать три подвыборки «модельных» объектов с пересекающейся активностью (табл. 4): активная (А-выборка, $17 < A_i, N_A=13$), малоактивная (М-выборка, $10 < A_i < 24, N_M=10$) и неактивная (Н-выборка, $(A_i < 17, N_H= 8)$).

Таблиця 4

Разнесение объектов методологией нечеткой логики на три подвыборки

Подвыборка	Номера объектов, включенных в подвыборку	Средняя активность элементов подвыборки
А-выборка	№ 1-13	21,92
М-выборка	№ 5, 6; № 11-18	18,00
Н-выборка	№ 17-24	7,25
«Пересекающиеся» объекты: № 5,6 отнесены и к А- и к М-выборкам; Объекты № 17-18 отнесены и к М- и к Н-выборкам		

Дисперсионный анализ полученных трех подвыборок показал значение критериальной статистики $F = 74,11$.

Полученная величина является значимой [11]. Нулевую гипотезу, состоящую в том, что активность объектов совпадает во всех трех группах, следует отбросить.

Статистическая значимость средних значений активностей (A_{cp}) объектов в сформированных подвыборках позволяет при помощи модифицированного Т-вектора определить разделяемость А-, Н- и М- подвыборок. Значения Т-векторов получены на основании данных, представленных в таблице 5.

Таблиця 5

Средние значения описательных признаков и топологические расстояния Δ_T между подвыборками. Разности средних активностей объектов подвыборок и соответствующие Т-вектора

Средние значения описательных признаков по выборкам								Δ_T	Средняя активность выборок, значения Т-векторов
Выборка	I	II	III	IV	V	VI	VII		
А	0,523	0,523	0,485	0,523	0,485	0,515	0,485	21,92	
М	0,500	0,520	0,520	0,570	0,530	0,570	0,470	18,00	
Н	0,475	0,400	0,388	0,438	0,413	0,413	0,350	8,25	
А-М	0,023	0,003	-0,035	-0,047	-0,045	-0,055	0,015	0,096	$T_{AM} = (21,92-18,00) \cdot 0,096 = 0,376$
А-Н	0,048	0,123	0,097	0,085	0,072	0,103	0,135	0,261	$T_{AN} = (21,92-8,25) \cdot 0,261 = 3,568$
М-Н	0,025	0,120	0,132	0,132	0,117	0,157	0,120	0,321	$T_{MN} = (18,00-8,25) \cdot 0,321 = 3,130$

Значения T-векторов свидетельствуют, что в многомерном пространстве «структура объекта – отклик» максимально разделены активная и неактивная подвыборки исследуемых объектов ($T_{AH} = 3,568$). Обращает на себя внимание тот факт, что в многомерном пространстве «структура-отклик») малоактивная выборка находится ближе к активной, чем к неактивной ($T_{AM} = 0,376 < T_{MH} = 3,130$).

На основании изложенного можно предположить, что структурные характеристики малоактивной подвыборки несут некоторую информацию, которая способствует проявлению данного отклика, для выявления этой информации требуется применение более глубоких методов анализа при решении конкретных прикладных задач.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стьюпер Э., Брюггер У., Джурс П. *Машинный анализ связи химической структуры и биологической активности: Пер. с англ.* – М.: Мир, 1982. – 240 с.
2. Журавлев Ю.И., Гуревич И.Б. *Распознавание образов и анализ изображений / В сб. Искусственный интеллект. Справочник. – Т. 2 / Под ред. Д.А. Поспелова.* – М.: Наука, 1990. – С.149-190.
3. Немчук О.О., Вітюк М.В., Матоліков Д.П. *Метод аналізу параметрів систем автоматизації приводів перевантажувачів на основі мір схожості // Теорія і практика будівництва.* – 2012. – № 7. – С.33-39.
4. Carhart R.E. *Atomic Pairs as Molecular Features in Structure-Activity Studies: Definitions and Applications / R.E. Carhart, D.H. Smith, R. Venkataraghavan // Journal of Chemical Information and Computer Sciences.* – 1985. – V. 25(2). – P.64-73.
5. Sheridan R.P.I. *Extending the trend vector: the trend matrix and sample-based partial least squares / R.P.I. Sheridan, R.B.Nachbar, V.I.Bush // Journal Computed Aided Molecular Desay.* – 1994. – V. 8(3). – P. 64-73.
6. Кузьмин В.Е. *Механистические модели в хемометрике для анализа многомерных исследовательских данных / В.Е. Кузьмин, Н.В. Витюк // Журнал аналитической химии.* – 1994. – Т. 49. – № 2. – С. 165-172.
7. Коммонер Б. *Замыкающийся круг.* – М.: Гидрометеиздат, 1974. – 280 с.
8. Штовба С.Д. *Проектирование нечетких систем средствами MATLAB.* – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

9. Девятьяров Д.А. Эволюционное построение алфавита дескрипторов, сформированных на основе аппарата нечеткой логики, в задаче «структура-свойство» // Системы управления и информационные технологии. – 2010. – № 1.1 (39). – С. 131-134.
10. Козловский В.А., Максимова А.Ю. Нечеткая система распознавания образов для решения задачи классификации жидких нефтепродуктов // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – Вип. 13(185). – 2011.
11. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики / Пер. с англ. В.С. Занадворова; Под ред. и с предисл. Е.М. Четыркина. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 344 с.

Стаття надійшла до редакції 12.12.2016

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Інформаційні технології» Одеського національного морського університету **В.В. Вичужанін**

кандидат технічних наук, ст. викладач кафедри «Мережі та системи поштового зв'язку» Одеської національної академії зв'язку (ОНАЗ) ім. О.С. Попова **В.Ю. Кумиш**

УДК 378.14

V. Bredneva, L. Kosharskaya, A. Linetskaya

**DRAWING TRAINING OF STUDENTS –
MAIN BASIS ENGINEERS' EDUCATION**

Accounting issues of psychologically – pedagogical principles are essential for improving the methodology of training engineers' graphics at the current stage of the reform of higher education. Development of the abilities to perceive, create, and save and share various types of technical graphics are the main tasks of the graphic preparation of professional engineering education. Integration of traditional and active teaching methods necessary for formation of professional graphics competencies.

Keywords: *professional competencies, psychologically-pedagogical approaches, graphic education, individualized educational methods.*

Питання врахування психолого-педагогічних принципів мають важливе значення для удосконалення методології графічної підготовки інженерних кадрів на сучасному етапі реформування вищої освіти. Розвиток здібностей правильно сприймати, створювати, а також зберігати та передавати будь-яку технічну графічну інформацію є основними задачами графічної підготовки професійної інженерної освіти. Для формування професійних графічних компетенцій необхідно комплексне поєднання традиційних та активних методів навчання.

Ключові слова: *професійні компетенції, психолого-педагогічні підходи, графічна освіта, індивідуальні методи навчання.*

Вопросы учета психолого-педагогических принципов имеют важное значение для совершенствования методологии графической подготовки инженерных кадров на современном этапе реформирования высшего образования. Развитие способностей правильно воспринимать, создавать, а также сохранять и передавать любую техническую графическую информацию являются основными задачами графической подготовки профессионального инженерного образования. Для формирования профессиональных графических компетенций необходимо комплексное объединение традиционных и активных методов обучения.

Ключевые слова: *профессиональные компетенции, психолого-педагогические подходы, графическое образование, индивидуальные методы обучения.*

An effective educational system is paramount for sustainable growth and socio-economic development. Such an effective education system necessarily includes an effective vocational training of professionally competent

engineers. The long-term educational practices in the leading universities in Odessa, Ukraine, indicate that a solid understanding of engineering graphic disciplines, such as drawing, is a prerequisite to the formation of professional competencies amongst prospective engineers. This understanding fosters a culture of graphic literacy the essence of which is laid out in «Engineering Geometry or Engineering Graphics» disciplin and serves as a foundation for further skill development.

We position that adherence to a vocational training of such quality requires an adoption of a broader, more comprehensive approach to professional competency. Moreover, it requires an objective assessment of hurdles specific to graphic education. We further suggest that the formation of a professionally – adequate graphic competencies amongst prospective engineers becomes more effective when individualized educational methods, such as personalized motivational techniques, increased student engagement, and supervised self-study, are employed during the vocational training of a prospective engineer based on the psychologically-pedagogical approaches to its contents.

The purpose of the study is to explore improvements in methodologythe questions of psychological and pedagogical principles for graphic preparation of the engineering staff at the present stage of reforming higher education. Recently, the issue of professional competencies in the context of professional development received a lot of attention from the international scientific community. However, our literature review indicates that, as of today, there is no one universally accepted definition of the term «professional competencies», neither with regards to its form, nor with respect to its substance [1-2].

The term and its derivatives are both under- and over-inclusive. For example, the exact meaning of «professionalism» tends to be highly specific to a particular profession; «professional training» refers to an industry-specific skill set acquired to perform a job in a specific field. At the same time, the terms are often used interchangeably to indicate a generic high levels of training and qualification.

We believe that current interpretations of «professional compe-tency» in the moderm foreign literature as «a furthered understanding», «an ability to adequately execute a task», «an ability to perform an activity», and others do not fully capture the substance of the term. We position that «professional competencies» should be measured against the actual results of the professional activity of an individual.

This is due to the fact that, only by delivering the outcome required by the profession, can an employee be considered professionally competent. Thus, we believe that the main objective of a vocational training is not limited to a formation of a solid knowledge base and a necessary practical skill of a student, but also includes a formation of a socially active, creative, and engaged personality of a prospective engineer, which we consider to be definitive of his/her professional competencies.

In addition to such comprehensive approach to professional competency, one must understand the nature of the graphic education as well as the unique hurdles faced by this discipline. Graphic education is a process, during which a student acquires knowledge, skills and abilities needed to work with graphic information. Developing the ability to properly receive, create, save, and transfer technical graphic information with regard to various objects and processes is the ultimate goal of graphic education in the realm of vocational training.

Pre-vocational graphic education plays an important role in achieving such coverage. Unfortunately, such pre-vocational education (e.g., drawing) is absent from many high-school curricula. Because of this, many first-year students experience difficulties in connection with the development of multi-dimensional space perception as well as with their abilities to interpret blueprints and other technical documentation.

The study of fundamental mathematics, descriptive geometry, and engineering graphics in vocational schools plays a paramount role in the education of a prospective engineer. The reduction in study hours of these disciplines inevitably leads to a reduction in the scope of the academic issues addressed.

Nevertheless, an adequate coverage of graphic disciplines is still possible with the help of an integrated, individualized approach to the educational process, as is evidenced from our research outlined below and elsewhere.

During our research, we conducted a number of observational controlled studies that measured the quality of graphic education delivered to first- and second-year construction and marine students [3-4]. Total of 225 students across ten study groups were studied during 2014-15 and 2015-16 academic years.

For the six study groups of first-year students, a single-plan exercise in the form of an express knowledge control was performed during the practical part of the first semester coursework. Tests and tutorial consultations were performed during the computer-based classes. Graphic exercises were performed during an independent self-study; each such graphic exercise was supervised by a professor and was timed.

For the four study groups of the second-year students, randomized questionnaires were distributed to assess the levels of knowledge acquired in the key disciplines; the questionnaires were individually assessed based on the level of knowledge retained. Approximately 95 % of all students studied took part in each of these control exercises.

Based on the data obtained, we identified three distinct aspects of individualized education – motivation, student engagement, and independent self-study – that we perceive as central to the improvement of graphic vocational training of prospective engineers.

Annually for more than 30 years of descriptive geometry and engineering graphics OGASA holds traditional open Olympics on descriptive geometry among first-year students of the leading universities in Odessa with participation of 120 students each year until that confirms some positive results in the graphics system training.

Throughout the research, psychologically motivated students, who were aware of the professional competition and who were determined to develop their understanding of the subject matter and their practical skills, exhibited the strongest desire to attain the best results amongst their peers. Based on this observation, we position that motivation, and it's strengthening, serves as an important tool in the management of education process.

Psychology defines «motivation» as a cause of action triggered by a need. A strong motivation significantly affects the object of the action, thus, creates a goal-orientated behavior. An educator should continuously plan, implement, and re-evaluate the educational process, so that it presents new knowledge as necessary for the student and creates a necessity of obtaining such knowledge.

Our observations further indicate that promotion of an active, mindful student engagement is an important component of graphic education. Such engagement should be grounded in a clear understanding of the questions presented and in a deep interest in the object studied.

Student's attention should be directed towards the constructional characteristic of the object depicted and its multi-dimensional structure. Great emphasis should be placed on the development of solid graphic skills and on student's ability to execute graphically accurate blueprints and other technical documentation.

Such educational method is relatively labor-intensive, since it requires more than a one-directional teacher-to-student communication of the subject matter. For this dynamic educational method to take place, an interested, engaged and positively motivated educator should orient him/herself towards active, determined students, so that students could participate in the study process and could form an ability to actively and effectively perceive, process, and recreate graphic information studied.

We conclude that, in order to increase the quality of the training provided, the emphasis should be placed on improving the levels of student engagement in graphic vocational training, which to a significant degree is dependent on the professionalism of the educator

Our research further highlights the importance of independent self-study that reinforces the retention of the newly acquired knowledge and shapes student's independent skills, knowledge, and abilities.

The data collected suggests that independent self – study is most effective when supervised by an educator at the outset, while the student develops a sufficient skill to perform such study on his/her own.

Thus, we suggest that independent self-study during the first year of vocational training should be systematically supervised by a professor. It is worth noting that an effective organization of independent self-study, and the subsequent continuous graphic training, implies an existence of an appropriate study space, i.e., classrooms equipped with drawing tables and computers with Internet access.

The educational information support required includes necessary textbooks; visual and study aids; lecture transcripts and sample answers, both in hard and soft copies; study guides addressing an efficient organization of independent self-study as well as sufficient number of various assignments and guidelines as to their completion.

Conclusion. In conclusion, we believe that the creation of proper conditions for professional and personal growth of prospective engineers and the formation of their creative skills and professional competency should become one of the main objectives of vocational training. Professional competency of an engineer is the sum total of integrated foundational knowledge, generic skill set and abilities, high levels of graphic and technological literacy and proficiency, creative approach to task organization, professionally valuable and personal characteristics, and openness to continuous self-development. An effective formation of such professional competencies amongst students depends on an individually tailored orientation of the educational process, as well as on the dynamic combination of traditional and individualized educational methods

REFERENCES

1. *Bespalko V.P. Pedagogika i progressivnije tehnologii obuchenija [Pedagogy and progressive learning technologies]. – M., 1995. – 336 p. [in Russian].*
2. *Piralova O.F. Teoreticheskiye osnovi optimizatsii obuchenija professionalnim distsiplinam v uslovijah sovremennogo tehničeskogo vuza [Theoretical foundations of optimization teaching professional disciplines in the context of modern technical University]. – M.: Academy of natural sciences, 2011. – 128 p. [in Russian].*
3. *Bredneva V.P. Narysna geometrija. Konstruktyvni ta prykladni zadachi z elementamy teorii [Descriptive geometry. Design and applied problems with elements of the theory]. – Odessa: [in Ukrainian]. – 196 p.*

4. *Bredneva V.P., Brednev A.M. Pro kompetentisnyi pidhid do metodologii vykladannja grafichnyh dystsyplin dlja studentiv-pershokursnykiv budivelnyh spetsialnostei [About the kompetentisnij approach to the methodology of teaching graphics disciplines for first – year students building specialties]: Materials of XXI International Science-methodical Conference. Part 2. – Odessa: – P. 27-28. [in Ukrainian].*

Стаття надійшла до редакції 21.10.2016

Рецензент – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри Технологічної і професійної освіти Південноукраїнського національного педагогічного університету ім. К.Д. Ушинського **В.В. Усов**

АВТОРИ ЗБІРНИКА

Беспалова Алла Вікторівна – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри «Організація будівництва та охорони праці» Одеської державної академії будівництва та архітектури

Бредньова Віра Петрівна – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Нарисна геометрія та інженерна графіка» Одеської державної академії будівництва та архітектури

Вітюк Анастасія Миколаївна – студентка 5 курсу кораблебудівного факультету Одеського національного морського університету

Вітюк Микола Васильович – кандидат фізико-мат. наук, доцент кафедри «Фізика», професор Одеського національного морського університету

Власов Ігор Валерійович – асистент кафедри «Суднові енергетичні системи і установки» Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»

Данілян Анатолій Григорович – старший викладач кафедри Судноводіння і енергетики суден Національного університету «Одеська морська академія», механік першого розряду

Дашковська Ольга Петрівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Організація будівництва та охорони праці» Одеської державної академії будівництва та архітектури

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

Єфремова Ніна Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

Ільницький Ігор Анатолійович – 1-й заступник генерального директора Морського інженерного бюро, м. Одеса

АВТОРИ ЗБІРНИКА

Калугін Ярослав Володимирович – заступник головного конструктора Морського інженерного бюро, м. Одеса

Книш Олексій Ігорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Організація будівництва та охорони праці» Одеської державної академії будівництва та архітектури

Корнієць Тетяна Євгенівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Експлуатація морських портів» Одеського національного морського університету

Кошарська Людмила Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету

Лінецька Анна Олександрівна – юрист-доктор, Benjamin Cardozo School of Law, Нью-Йорк

Машін Володимир Миколайович – виконуючий обов'язки старшого викладача кафедри «Електротехніка та електрообладнання суден» Одеського національного морського університету

Найдьонов Андрій Ігорович – асистент, аспірант кафедри Судноводіння і енергетики суден Національного університету «Одеська морська академія»

Парфьонова Ольга Романівна – старший викладач кафедри Гуманітарних дисциплін Національного університету «Одеська морська академія»

Рожко Олена Костянтинівна – стажер-викладач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Одеського національного морського університету

Смаркалова Антоніна Костянтинівна – магістр Факультету транспортних технологій та систем Одеського національного морського університету

Тонюк Валерій Іванович – технічний директор Морського Інженерного бюро, м. Одеса

АВТОРИ ЗБІРНИКА

Файзуліна Оксана Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Організація будівництва та охорони праці» Одеської державної академії будівництва та архітектури

Федорова Катерина Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Інженерні конструкції та водні дослідження» Одеського національного морського університету

Чимшир Валентин Іванович – кандидат технічних наук, докторант, директор Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»

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 літературні 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;
- ✓ 2 рецензії фахівців з науковим ступенем за профілем статті (бажано докторів технічних наук), завірені 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 АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ**

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 додержуватись 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 додержанням 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 A4 210 x 297 мм.

- ✓ верхнє – 2 см;
- ✓ нижнє – 3 см;
- ✓ лівє – 2,5 см;
- ✓ правє – 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 – по центру.

ВИМОГИ
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

Назва статті

- ✓ відступ – 0,75;
- ✓ шрифт – Arial Сут, 14 пт, великий;
- ✓ напівжирний;
- ✓ вирівнювання – по центру.

Редакційна колегія звертає увагу авторів на те, що назва статті повинна коротко і максимально точно відобразити суть проведених досліджень.

Анотація складається обов'язково трьома мовами: українською, російською обсягом 50-60 слів. Обсяг англійської анотації має бути розширеним – 100-250 слів.

Анотації повинні бути:

- інформативними (не містити загальних, нічого не значущих слів);
- змістовними (відображати основний зміст статті і результати досліджень);
- структурованими та компактними;
- англійська анотація повинна бути написана якісно.

Ключові слова – обов'язково трьома мовами: українською, російською та англійською (5-10 слів) наводяться після анотації.

Основний текст відображує зміст статті та нові наукові досягнення. У статті рекомендується виділення основних розділів:

Вступ

Аналіз основних досягнень і літератури

Мета дослідження, постановка задачі

Матеріали досліджень

Результати досліджень

Висновки

Текст статті починається через один порожній рядок після ключових слів анотації.

Назви розділів друкуються жирним шрифтом. Посилання в тексті на рисунки та таблиці мають вигляд (рис. 1), (табл. 1), або (див. рис.1, а); (у табл. 2). Посилання на літературу надаються у квадратних дужках, наприклад, у [3], у [4; 6], або [2-5].

У тексті рекомендується використовувати тире середньої довжини.

ВИМОГИ
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

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. Індeksi та показники степеня повинні бути однакоvими 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 (Рисунання) 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.

ВИМОГИ
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

Середня кількість ілюстрацій за обсягом не повинна перевищувати 20 % авторського тексту, що при розмірі 10x12 см складе 7-8 рисунків на авторській 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 графи. 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 однарусній головці усі заголовки пишуться з великої літери.

У дво- і багаторусній 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.

**ВИМОГИ
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ**

Література

Список літератури подається в порядку посилання. Неприпустиме посилання на неопубліковані та незавершені праці.

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.

ВИМОГИ
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

Приклади бібліографічного опису документа

Опис книги одного автора

Іванов О.К. Економічний аналіз: Учебний 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. Горш-
ков. – 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.

ВИМОГИ
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

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 3 (49)

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 27.12.2016.
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 10,5.
Замовлення № 207.

Надруковано у Видавництві ОНМУ
65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.
Тел. 728 31 14