



**Gennadii
V. Egorov**
Егоров
Геннадий
Вячеславович



**Igor
A. Ilitskii**
Ильницкий
Игорь
Анатольевич



**Aleksandr
G. Egorov**
Егоров
Александр
Геннадьевич



**Dmitrii
V. Chernikov**
Черников
Дмитрий
Владимирович

УДК 629.5.01

CONCEPT OF LNG TRAIN FERRY FOR SULPHUR AND NITROGEN EMISSION CONTROL AREAS

КОНЦЕПТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПАРОМА-ГАЗОХОДА ДЛЯ ОСОБЫХ ЗОН ПО КОНТРОЛЮ ВЫБРОСОВ ОКИСЛОВ АЗОТА И СЕРЫ

DOI 10.15589/SMI20180207

Gennadii V. Egorov

Г. В. Егоров, д-р техн. наук, проф., генеральный директор
egorov@meb.com.ua

ORCID: 0000-0003-2594-5273

Igor A. Ilitskii

И. А. Ильницкий, первый заместитель
генерального директора, главный конструктор
ilnitskiy@meb.com.ua

ORCID: 0000-0002-3288-3018

Aleksandr G. Egorov

А. Г. Егоров, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник
egorovag@meb.com.ua

ORCID: 0000-0002-2050-8640

Dmitrii V. Chernikov

Д. В. Черников, главный конструктор
chernikov@meb.com.ua

ORCID: 0000-0002-8568-950X

Marine Engineering Bureau, Odessa

Морское инженерное бюро, г. Одесса

Abstract. Since 1st January 2015 the maximum sulphur content of marine fuels used in SE-CAs has been reduced to 0,1 %. Gas fuel allows completely to exclude SO_x emissions and particulate matters, to reduce NO_x emissions by 90 % and CO₂ emissions by 30 %. Therefore urgent need of LNG fuel new generation ferries, which meet the most modern requirements to safety has appeared. Results of complex of works on optimization of concept of the first train ferry of LNG with taking into account ice and ecological requirements of Baltic region are provided. There with new ferry is purely cargo without function of passengers' transportation. Considering that on Ust-Luga (St. Petersburg region)–Baltiysk (Kaliningrad region) line passenger function is subsidized and passenger requirements significantly influence on general arrangement and on ferry's design in common, and also on its speed and power, and hence considerably reduce railway car capacity and increase cost value of freight transportations, decision to make new ferry in cargo variant has made this project economically acceptable. The new concept of train and automobile ferry for Baltic is LNG fuel steel self-propelled vessel with Arc4 ice category, with raking stem, with one cargo deck providing placement of 80 railway cars in one plane without usage of cargo lifts, aft located ER, with diesel propulsion plant, aft auxiliary thruster and two bow thrusters. Optimization of hull form and following CFD modelling and tests in experimental tank allowed significantly improve ferry's hull form and reduce fuel consumption, including due to rational approach to choice of operational speed and organization of operational line, including process of loading and unloading (placement of freight truck trailers on upper deck will allow to carry out parallel loading/unloading process with railway cars located on main deck).

Keywords: Baltic Sea; Sulphur and nitrogen oxides emission control areas (NECA and SECA); sea train ferry; design; efficiency; gas; innovation.

Анотація. Із 1 січня 2015 року в зонах особливого контролю за викидами сірки набула чинності вимога про те, що вміст сірки в судновому паливі не має перевищувати 0,1%. Газомоторне паливо дає змогу повністю виключити викиди окислів сірки й твердих частинок, знизити на 90% викиди окислів азоту й зменшити викиди CO₂ на 30%. Тому виникла нагальна потреба в поромових суднах нового покоління, що працюють на зрідженому природному газі та відповідають найсучаснішим вимогам до безпеки. Наведені результати комплексу робіт з оптимізації концепту першого залізничного порома LNG з урахуванням льодових і екологічних вимог Балтійського регіону. При цьому новий концепт, на відміну від раніше запропонованих, є суто вантажним — без функції перевезення пасажирів. Ураховуючи, що на лінії Усть-Луга–Балтійськ пасажирська функція є дотаційною, пасажирські вимоги суттєво впливають на загальне розташування судна і його конструкцію, а також його швидкість та потужність, тим

самим помітно знижують вагомість і збільшують собівартість вантажних перевезень, рішення зробити новий концепт суто вантажним зробило цей проект економічно доцільним. Концепт являє собою автомобільно-залізничний пором з льодовою категорією Arc4, з похилим форштевнем, носовим розташуванням житлової надбудови й кормовим машинного відділення, має двогвинтову пропульсивну установку, з одним кормовим і двома носовими підрулюючими пристроями. Оптимізація обводів корпусу й наступне числове моделювання випробувань у басейні дали змогу суттєво поліпшити форму корпусу та знизити витрати палива, у тому числі за рахунок раціонального підходу до вибору швидкості й організації лінії, включаючи процес завантаження і розвантаження (розміщення автопоїздів на верхній палубі, що дало змогу забезпечити завантаження автопоїздів з причалу на верхню палубу паралельно із завантаженням-вивантаженням залізничних вагонів на головну палубу).

Ключові слова: Балтійське море; особлива зона з контролю викидів окислів азоту (NECA) і сірки (SECA); морський залізничний пором; проектування; ефективність; газ; інновація.

Аннотация. С 1 января 2015 года в зонах особого контроля за выбросами серы вступило в силу требование о том, что содержание серы в судовом топливе не должно превышать 0,1 %. Газомоторное топливо позволяет полностью исключить выбросы окислов серы и твердых частиц, снизить на 90 % выбросы окислов азота и уменьшить выбросы CO₂ на 30 %. Поэтому возникла насущная необходимость в паромов нового поколения, работающих на сжиженном природном газе и соответствующих современным требованиям к безопасности. Представлены результаты комплекса работ по оптимизации концепта первого железнодорожного паромов LNG с учетом ледовых и экологических требований Балтийского региона. При этом новый концепт, в отличие от ранее предлагаемых, является чисто грузовым — без функции перевозки пассажиров. Учитывая, что на линии Усть-Луга–Балтийск пассажирская функция является дотационной, пассажирские требования существенно влияют на общее расположение судна и его конструкцию, а также на его скорость и мощность, тем самым заметно снижают вагоновместимость и увеличивают себестоимость грузовых перевозок, решение сделать новый концепт чисто грузовым сделало этот проект окупаемым. Концепт представляет собой автомобильно-железнодорожный паром с ледовой категорией Arc4 с наклонным форштевнем, носовым расположением жилой надстройки и кормовым машинного отделения, двухвинтовой пропульсивной установкой, кормовым подруливающим устройством и двумя носовыми подруливающими устройствами. Оптимизация обводов корпуса и последующее численное моделирование испытаний в бассейне позволили существенно улучшить форму корпуса и снизить расход топлива, в том числе за счет рационального подхода к выбору скорости и организации линии, включая процесс загрузки и разгрузки (размещение автопоездов на верхней палубе, что позволило обеспечить загрузку автопоездов с причала на верхнюю палубу параллельно с загрузкой-выгрузкой железнодорожных вагонов на главную палубу).

Ключевые слова: Балтийское море; особая зона по контролю выбросов окислов азота (NECA) и серы (SECA); морской железнодорожный паром; проектирование; эффективность; газ; инновация.

References

- [1] Egorov, G. V., Ilnitskiy, I. A., & Chernikov, D. V. (2015). Osobennosti proektirovaniya konstruktssii zheleznodorozhnogo paroma dlya linii Ust-Luga–Baltiysk–Zasnit–Mukran [Features of hull design of train ferry for Ust-Luga – Baltiysk – Sassnitz – Mukran line]. *Materials of sc.-tech. conf. named for prof. P.Ph. Papkovich*. Saint-Petersburg: Krylov state research center, 24-25 [in Russian].
- [2] *Pravila klassifikatsii i postroiki sudov dlya perevozki szhizhennuch gazov nalive* (2016) [Rules of classification and building of vessels for transportation of liquefied gases in bulk]. Saint-Petersburg: Russian maritime register of shipping [in Russian].
- [3] Pronin, E. N. *Zelenii svet “Golubomy koridory”* [Green light to “Blue corridor”]. Retrieved from: http://www.ngvrus.ru/st6_1.shtml (access date: 31.01.2019) [in Russian].
- [4] *Rules for classification of ships. Newbuildings. Special equipment and systems additional class*. Part 6, chapter 13. Gas fuelled engine installations (2001). Det Norske Veritas.
- [5] Resolution MSC.285(86). Interim Guidelines on safety for natural gas-fuelled engine installations in ships. International Maritime Organization.
- [6] McArthur, R (2011). Gas-fuelled mechanical propulsion solutions offer major emissions reductions. *Twenty-four*, 1, 66-68.
- [7] *North European LNG Infrastructure Project: A feasibility study for an LNG filling station infrastructure and test of recommendations*. Draft Feasibility Report. Retrieved from http://www.lngbunkering.org/sites/default/files/2012%20DMA%20North%20European%20LNG%20Infrastructure%20Project_0.pdf (access date: 31.01.2019).
- [8] Wartsila Engines (2009). *Wartsila 20DF*. Wärtsilä Corporation Book's Office, 2 p.

Постановка задачи. Большинство организаций из системы ООН, в том числе ИМО, включило в свою деятельность существенную экологическую составляющую, ориентированную на переход к устойчивому развитию человечества. Примером является поэтапное ужесточение в соответствии с Приложением VI МК МАРПОЛ требований к выхлопным газам двигателей судов по содержанию в них оксидов серы, азота и твёрдых частиц.

Балтийское море — особая зона по контролю выбросов оксидов азота (NECA) и серы (SECA). С 1 января 2015 года в зонах особого контроля за выбросами (Sulphur Emission Control Areas — SECA) вступило в силу требование о том, что содержание серы в судовом топливе не должно превышать 0,1 %. Обычное жидкое топливо с таким содержанием серы становится крайне дорогим и существенно увеличивает расходы на перевозку грузов морем. Газомоторное топливо позволяет полностью исключить выброс оксидов серы и твёрдых частиц, снизить на 90 % выбросы оксидов азота и уменьшить выбросы CO₂ на 30 %.

Поэтому возникла насущная необходимость в пармах нового поколения, работающих на сжиженном природном газе (СПГ), отвечающих самым современным требованиям по безопасности: новые железнодорожные паромы для Калининградской области проекта CNF19M [1] будут эксплуатироваться как раз в зоне ECA.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ — поиск таких технических решений, которые позволят создать эффективный концепт перспективного парома проекта CNF19M для особых зон по контролю выбросов оксидов азота и серы.

Основной материал. На Балтийском море присутствует весь спектр паромных перевозок, включая круизные перевозки на линиях, грузопассажирские, грузовые и железнодорожные, причём паромные перевозки осуществляются регулярно и практически без сбоев в расписании. Всего на Балтике работает более 50 паромных сервисов. Из них железнодорожных всего лишь шесть. Количество железнодорожных линий сокращается.

Нет действующих паромов с максимально возможными габаритными размерениями и характеристиками под линию Усть-Луга–Балтийск. Необходимы паромы, способные эффективно работать в ледовых условиях порта Усть-Луга.

Исследования по концепту грузового парома проекта CNF19M для Балтийского моря ведутся Морским Инженерным Бюро с 2014 года (этапы представлены на рис. 1).

При этом новый концепт является, в отличие от ранее предлагаемых, чисто грузовым — без функции перевозки пассажиров. Учитывая, что на линии Усть-Луга–Балтийск пассажирская функция является дотационной, пассажирские требования существенно влияют на общее расположение судна и его конструкцию, а также его скорость и мощность, тем самым заметно снижают вагоновместимость и увеличивают себестоимость грузовых перевозок, решение сделать новый концепт чисто грузовым сделало этот проект окупаемым.

Концепт. Новый концепт железнодорожного парома для Балтики проекта CNF19M (рис. 2 и 3) — 200-метровый автомобильно-железнодорожный паром-газоход ледовой категорией Arc4 с закрытой грузовой палубой для вагонов и открытой верхней палубой для автотрейлеров и автомобилей, носовым расположением жилой надстройки и кормовым машинного отделения, двухвинтовой пропульсивной установкой, кормовым подруливающим устройством и двумя носовыми подруливающими устройствами, размещением газовых ёмкостей в трюме в средней части на безопасном удалении от надстройки и машинного отделения, двойным дном и двойными бортами, возможностью бункеровки газом одновременно с четырёх автопоездов с помощью судового бустерного модуля, а также с судна-бункеровщика и от береговой бункер-базы СПГ.

Основные характеристики парома указаны в табл. 1. Главные размерения, автономность были получены на основании анализа путевых условий района эксплуатации парома проекта CNF19M. Новая идея концепта — размещение автопоездов на верхней палубе (крыше-надстройке) дополнительно к грузу вагонов на главной палубе. Это позволило обеспечить выгрузку автопоездов с причала на верхнюю палубу параллельно с погрузкой-выгрузкой железнодорожных вагонов на главную палубу (рис. 4).

Судно предназначено для перевозки железнодорожных составов российского стандарта с шириной колеи 1520 мм, а также других накатных грузов, включая опасные грузы (табл. 2). На верхней палубе предусмотрена перевозка грузовых автоприцепов (15 шт. по 40 т).

К обводам корпуса предъявлялись высокие требования:

1) высокие скоростные характеристики (относительно низкий коэффициент общей полноты 0,661 при осадке по ЛГВЛ 6,0 м, острые углы ватерлиний в носовой части корпуса);

2) форма корпуса соответствует требованиям, предъявляемым к судам с высоким ледовым классом

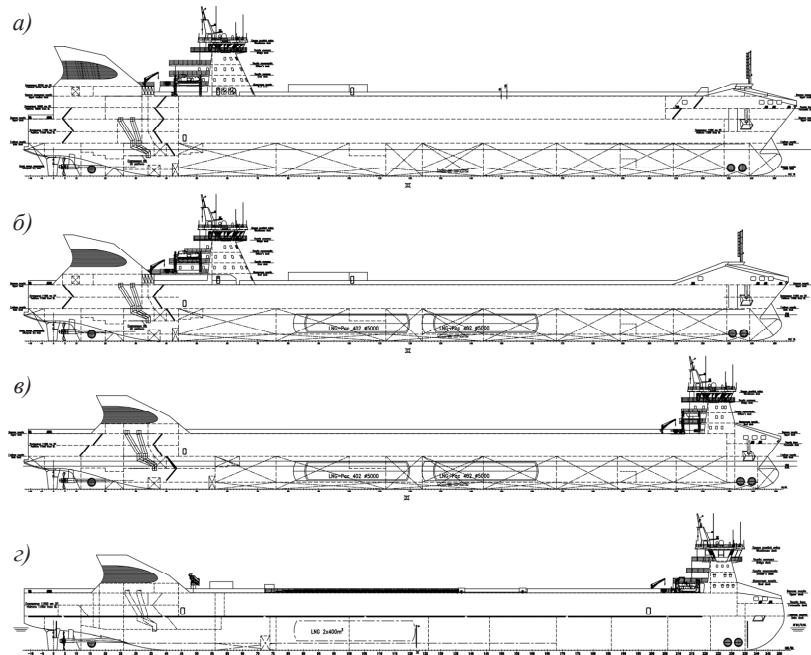


Рис. 1. Этапы создания железнодорожного паром проекта CNF19M:

а — CNF19 — «трёхпалубная» версия, 2014 год; б — CNF19M — «однопалубная» версия без размещения автомобилей на открытой палубе, 2016 год; в — CNF19M — «однопалубная» версия с размещением автомобилей на открытой палубе, 2017 год; г — CNF19M — «однопалубная» версия с размещением автомобилей на открытой палубе, 2018 год



Рис. 2. Общий вид паром проекта CNF19M

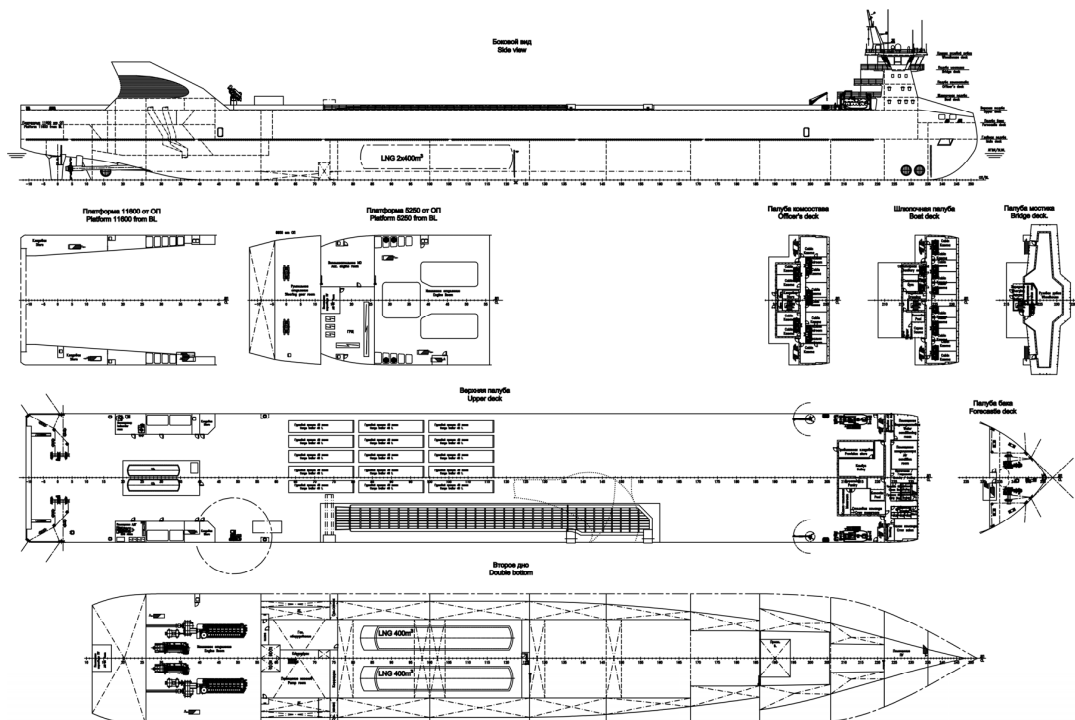


Рис. 3. Общее расположение железнодорожного паром-газохода проекта CNF19M

Таблица 1. Основные характеристики парома проекта CNF19M

Параметр	Величина
Длина максимальная, м	199,90
Длина по КВЛ, м	196,62
Ширина габаритная (с учётом привальных брусьев), м	27,40
Ширина, м	27,00
Высота борта до ГП, м	8,60
Высота борта до ВП, м	14,70
$L \times B \times H$	$199,90 \times 27,40 \times 14,70 = 80516$
Осадка по ЛГВЛ, м	6,0
Дедвейт при осадке по ЛГВЛ (около), т	11062
Дальность плавания, морских миль	3000
Автономность, сут.: по запасам топлива и масла (при эксплуатационной скорости 15 уз), провизии, воды по сточным водам (в районах, где запрещён сброс)	10 3
Протяжённость рельсовых путей, м	970
Класс Российского Морского Регистра Судоходства	KM Arc4 AUT1-ICS OMBO ECO GFS Ro-ro ship
Винто-рулевой комплекс	2×ВРШ + 2 полуподвесных полубалансирных руля
Носовое/кормовое подруливающее устройство, кВт	2×1000/1×1000
Вспомогательная энергетическая установка (ДГ/валогенератор) + АДГ, кВт	$(2 \times 1140 / 2 \times 2400) + 1 \times 400$
Экипаж/мест, чел.	24/36
Спасательные моторные шлюпки	2×36 чел. Одна из шлюпок укомплектована как дежурная
Сбрасываемые плоты	4×20 чел. + 1×6 чел.

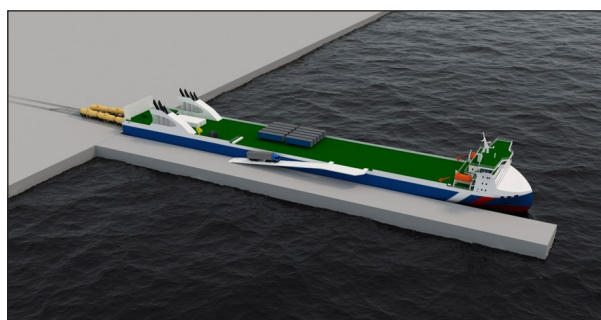


Рис. 4. Параллельная загрузка ж/д вагонов и прицепов грузовых авто

Таблица 2. Грузовместимость судна по железнодорожным составам габарита 1-Т на главной палубе

Тип вагона	Длина между автосцепками, мм	Количество, ед.
Ж/д цистерна (4-осная)	12020	80
Полувагон	17670	54
Полувагон	13920	70
Грузовой вагон	24620	36
Хопер	14720	64
Автомобилевоз 11-1291	26720	34
Автомобилевоз 11-287	24260	36
Грузовой автомобиль с полуприцепом, имеющим длину 12,0–13,5 м (без перевозки ж/д составов)	Автопоезд 16,5 м	58

Arc4 (регламентируются углы наклона ЛГВЛ, шпангоута на уровне ЛГВЛ, ЛГВЛ на носовом перпендикуляре, форштевня на уровне ЛГВЛ — рис. 5);

3) грузовая главная палуба размещает максимальное количество вагонов (широкие обводы в носовой части — рис. 6).

Оптимизация обводов корпуса с помощью CFD-моделирования и последующие испытания в бассейне позволили существенно улучшить форму корпуса и снизить расход топлива, в том числе за счёт рационального подхода к выбору скорости и организации линии (рис. 7–9).

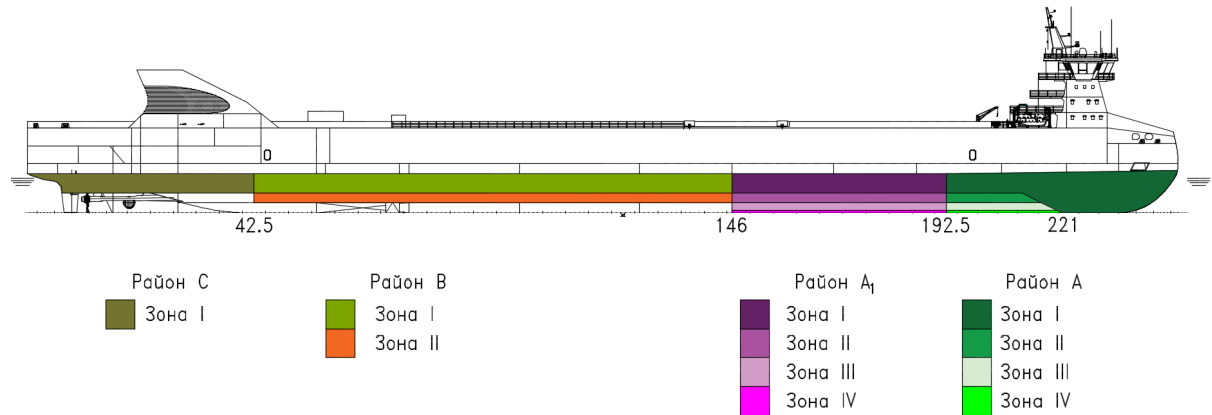


Рис. 5. Подкрепления в условиях ледового класса Arc4

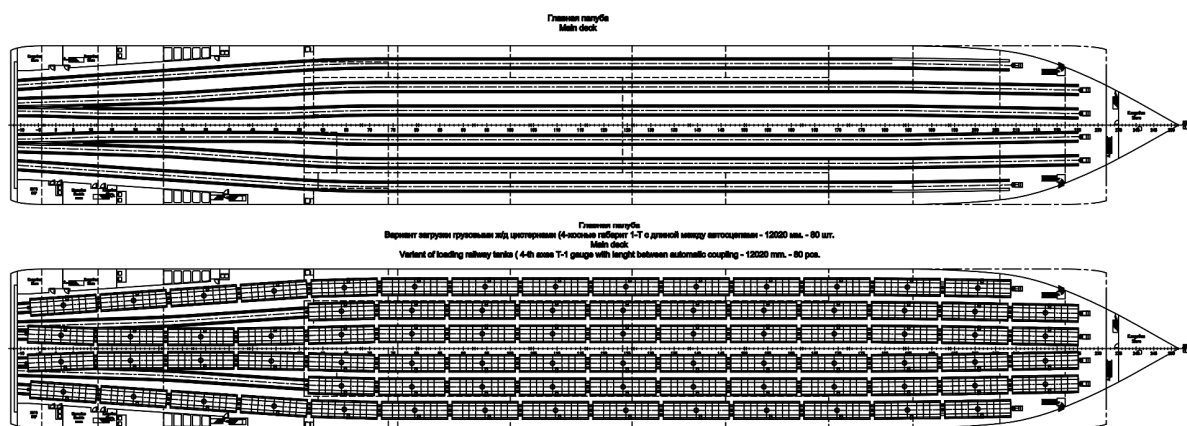
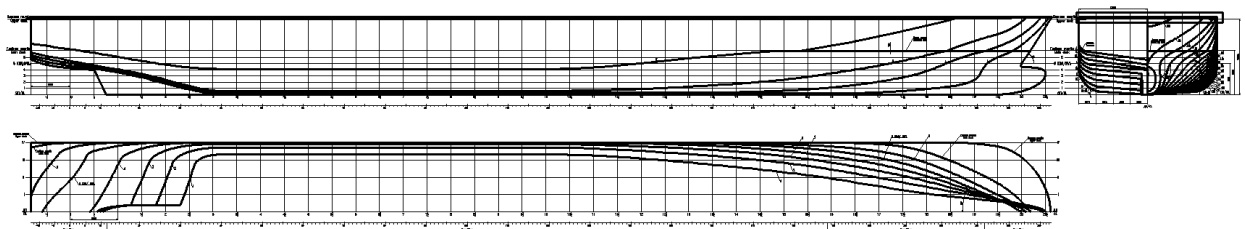


Рис. 6. Размещение вагонов на главной палубе парома проекта CNF19M

Вариант 1



Вариант 2

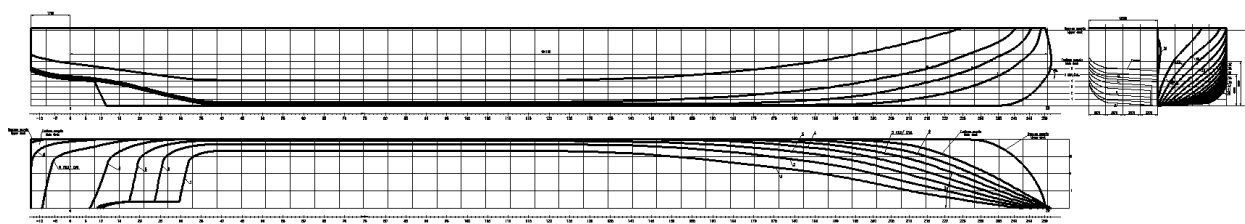


Рис. 7. Оптимизация обводов парома проекта CNF19M

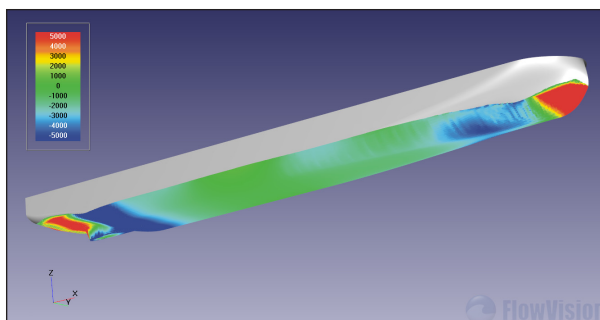
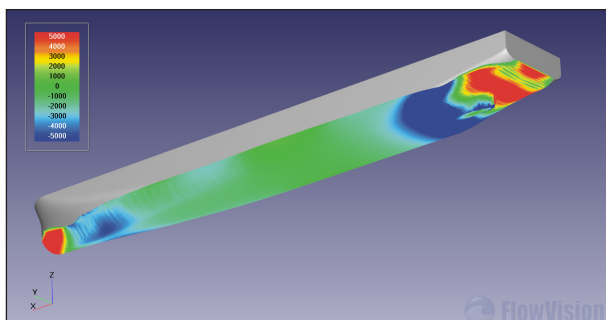


Рис. 8. CFD-моделирование в программе FlowVision. Распределение давления

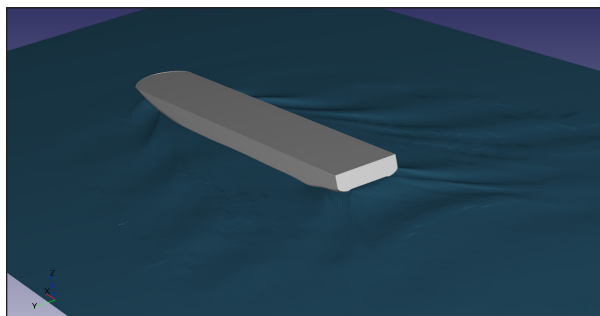
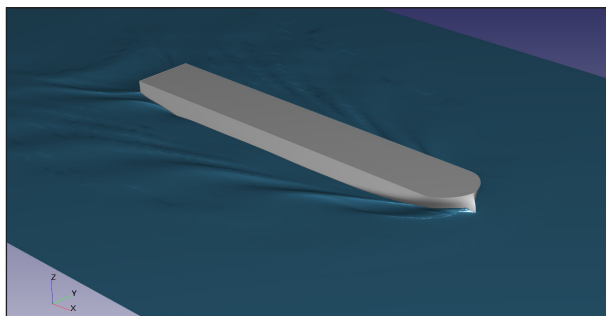


Рис. 9. CFD-моделирование в программе FlowVision. Свободная поверхность

Согласно результатам предварительного расчёта ходкости, скорость хода 18 уз на тихой и глубокой воде достигается при мощности главных двигателей 2×8100 кВт, при их нагрузке по мощности 85 % и отборе валогенератором 1200 кВт.

Общая прочность корпуса удовлетворяет требованиям Регистра в соответствии с классом. Наибольший перегиб отмечен в случае нагрузки «Судно с 80 ж/д грузовыми вагонами массой 94 т на главной палубе и 15 грузовыми прицепами массой 40 т на верхней палубе, 10 % запасов с обледенением» — 70,7% от допускаемого. Требования к моменту сопротивления нового корпуса по палубе выполняются с 8,1% запасом, по днищу — с 10,4% запасом. Толщины бортовой обшивки и обшивки продольных переборок удовлетворяют требованиям с заметным запасом. Расчёты выполнялись с помощью МКЭ в программе ЭльБрус, разработанной МИБ (рис. 10).

Выбор вида топлива. Существует несколько способов решения проблемы соответствия требованиям конвенции МАРПОЛ по содержанию вредных газов, в том числе использование малосернистого дизельного топлива; использование тяжёлого топлива (ТТ) при условии оборудования судов скрубберами — системами очистки выхлопных газов от окислов серы; использование в качестве топлива природного газа (ПГ).

Применение малосернистого дизельного топлива (ДТ) является неоправданным из-за его высокой цены по сравнению с ТТ и ПГ. Использование скрубберов является нецелесообразным, поскольку

размещение скрубберов, предлагаемых к поставке различными фирмами (габариты агрегата около $5400 \times 2700 \times 1700$ мм), повлияет на вагоновместимость, и, соответственно, на экономику парама. Кроме того, независимо от применяемого жидкого топлива для удовлетворения норм по выбросам NO_x Tier III требуется установка дополнительных систем очистки выхлопных газов от окислов азота.

Поэтому применение СПГ в качестве основного судового топлива для паромов проекта CNF19M для решения проблемы соответствия требованиям по выбросам в атмосферу даёт следующие преимущества:

- 1) позволяет полностью исключить выбросы серы, существенно сократить выбросы оксидов азота (на 85 %) и углерода (на 25 %), а также твёрдых частиц [7];
- 2) уровень выбросов окислов азота (NO_x) в случае применения природного газа будет соответствовать требованиям МАРПОЛ Tier III без применения дополнительных систем очистки газов [1].

При проектировании и эксплуатации судов с СПГ на борту особое внимание уделено обеспечению безопасности. В настоящий момент ещё не разработаны отечественные правила для судов, на которых используется СПГ в качестве топлива и которые не являются газовозами. Поэтому при проработке комплекса мероприятий, обеспечивающих повышение безопасности, были приняты во внимание требования DNV [4], учтены рекомендации ИМО [5] и требования Правил классификации и постройки газовозов РС [2] в том объёме, в каком они применимы к этому проекту.

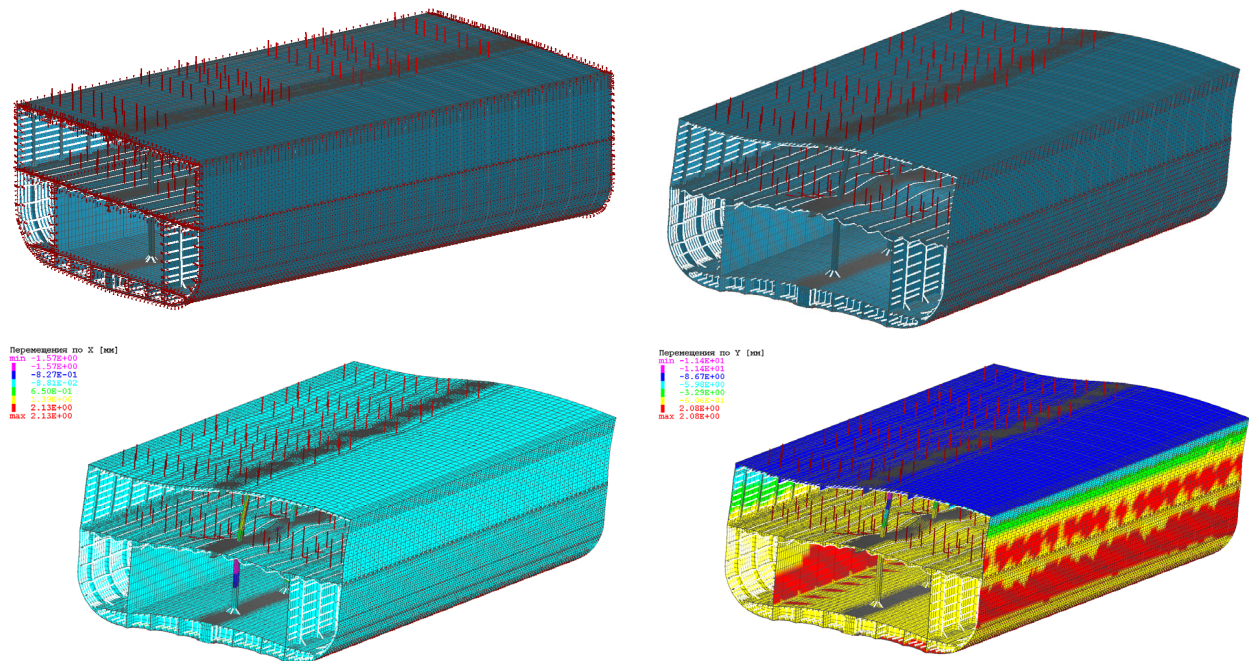


Рис. 10. Расчёты прочности с помощью МКЭ в программе ЭльБрус МИБа

Для обеспечения безопасного использования СПГ приняты следующие основные конструктивные меры:

- система подачи газа, расположенная в пределах машинного отделения, заключена в газонепроницаемую оболочку, т. е. представляет собой систему трубопроводов с двойными стенками;
- для каждого двигателя в районе машинного отделения предусматривается отдельная линия подачи газа с возможностью дистанционного автоматического отключения в случае обнаружения утечек;
- возможность мгновенного автоматического перехода с газового топлива на жидкое в случае отключения подачи газа;
- датчики контроля утечек природного газа в местах наиболее вероятных утечек (машинное отделение, межтрубное пространство двойных трубопроводов подачи газа и т. п.);
- выдача сигнала в судовую АПС об утечке газа (20 % взрывоопасной концентрации);
- автоматическое отключение подачи природного газа к оборудованию (60 % взрывоопасной концентрации) с выдачей сигнала АПС;
- искусственная вентиляция межтрубного пространства трубопроводов с двойными стенками и внутренних пространств блоков газовых клапанов;
- вентиляция газовыпускных трактов ГД при остановленных двигателях;
- подача инертного газа, например азота, для продувания трубопроводов подачи газа к двигателям;
- предварительная вентиляция топков котлов перед их розжигом.

Главная трудность при использовании СПГ на судах — сравнительно большое пространство, требуемое для криогенных ёмкостей. В сравнении с нефтяным топливом равное по энергетическому содержанию количество СПГ требует примерно в 1,9 раза большего объёма. С учётом теплоизоляции ёмкости требуемый объём возрастает примерно в 2,3 раза. В случае установки ёмкостей для хранения СПГ внутри корпуса судна требуемый объём может увеличиться в 4 раза.

Рассмотрены два возможных варианта применяемых криогенных ёмкостей: криогенные ёмкости LNG-Рас, поставляемые фирмами WARTSILA (рис. 11) и MAN [8].

Криогенная ёмкость LNG-Рас представляет собой комплексную конструкцию, состоящую из криогенной ёмкости с изоляцией и внешней защитной оболочкой; блока испарителя и подогревателя газа с арматурой и трубопроводами; необходимыми датчиками и КИП; присоединений к внешним трубопроводам и интерфейсов обмена информацией с судовой ИСУ ТС. Способ налива и слива СПГ — верхний, слив за счёт создания давления в криогенной ёмкости сторонним наддувом.

Размещение LNG ёмкостей и станции приёма LNG представлено на рис. 12 и 13.

Общий объём ёмкостей для СПГ составляет 800 м куб. (2×400 м куб.). С учётом мёртвого запаса 10 % доступно для расхода около 720 м куб. Кроме того, предусматриваются цистерны запаса ДТ суммарным объёмом около 450 м куб. (рис. 14).

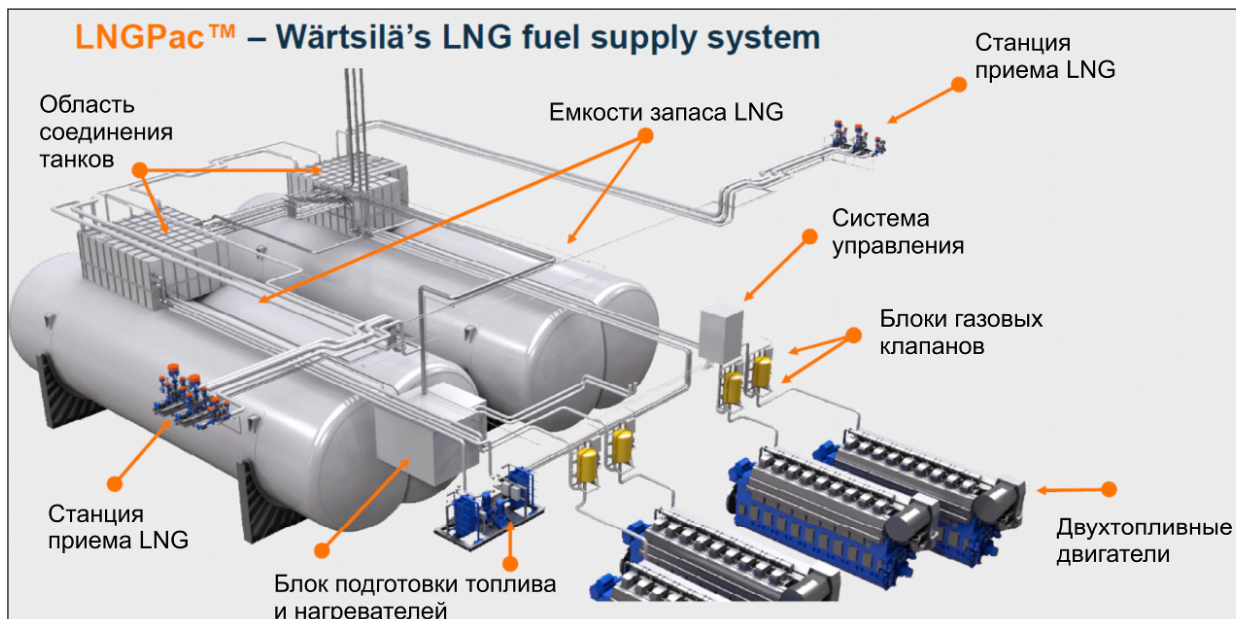


Рис. 11. Основные элементы топливной системы LNG Wärtsilä

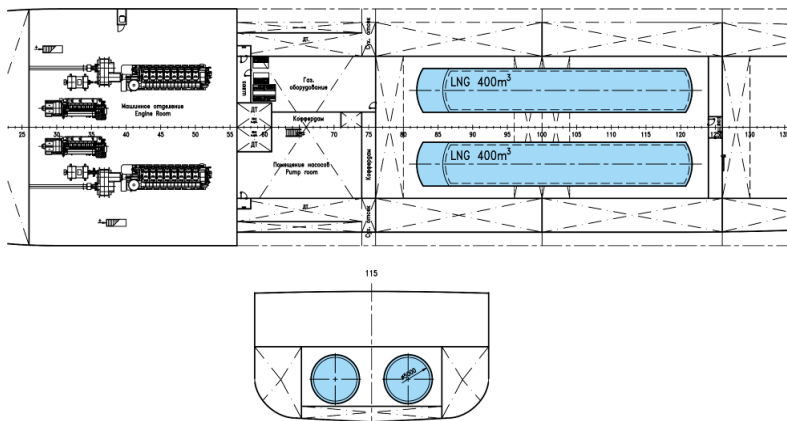


Рис. 12. Размещение LNG ёмкостей

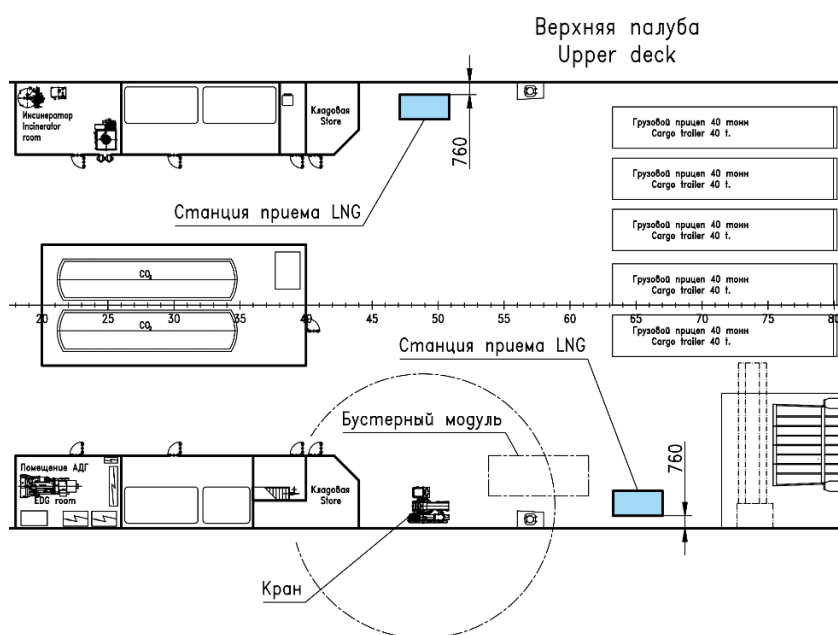


Рис. 13. Размещение станции приёма LNG

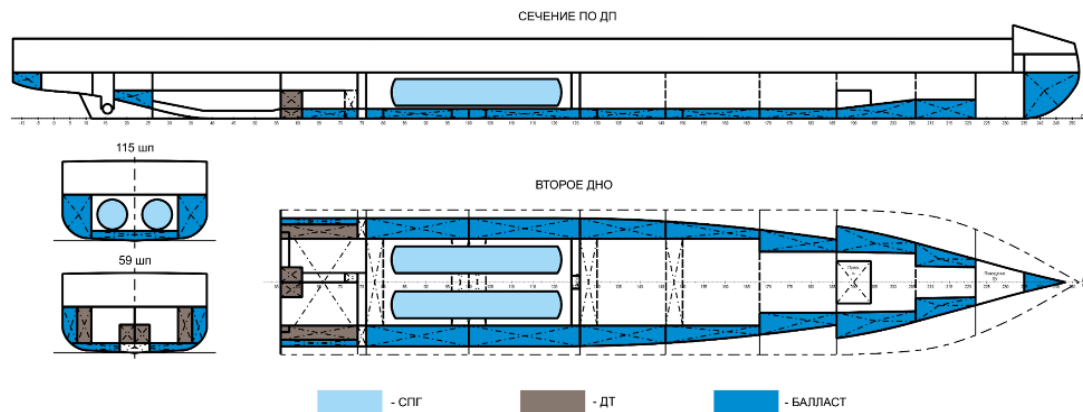


Рис. 14. Автономность на СПГ по кругорейсам при эксплуатационной скорости 18 уз

Бункеровка СПГ. Частичная бункеровка предполагается при каждом заходе в порт. При скорости 18 уз время кругорейса занимает 58 часов, время простоя у причала по 3 часа в каждом порту. Общее время кругорейса — 64 часа.

Расход топлива при скорости 18 уз составляет: 2030 кг/ч, грузовые операции в порту 300 кг/ч (для ГД MAN); 2135 кг/ч, грузовые операции в порту 300 кг/ч (для ГД Wartsila). Автономность на СПГ составляет 2 полных кругорейса — 128 часов (около 5 суток). При скорости 15 уз время кругорейса занимает 70 часов, время простоя у причала по 3 часа в каждом порту. Общее время кругорейса — 76 часов.

Расход топлива при скорости 15 уз составляет: 1128 кг/ч, грузовые операции в порту 300 кг/ч (для ГД MAN); 1172 кг/ч, грузовые операции в порту 300 кг/ч (для ГД Wartsila). Автономность на СПГ составляет 3 полных кругорейса — 223 часа (около 10,0 суток).

Варианты заправки следующие: с автоцистерн-газовозов, судна-бункеровщика, портовой бункер-станции, с помощью газовых танк-контейнеров.

Примеры всех решений по заправке газомоторным топливом в мировой практике уже есть. Автоцистерны, которые предлагаются сейчас на рынке (например, Криогаз, по примеру бункеровки паромов в порту Таллинна), не будут оборудованы насосами для выдачи СПГ. Поэтому для подачи СПГ на судно нужен бустерный модуль. Этот модуль включает в себя манифольд для подключения четырёх автоцистерн и насос, который будет перекачивать СПГ на судно. От модуля будет идти один шланг для подключения к судовой бункерной станции. Бустерный модуль предполагается хранить на борту судна, а для бункеровки выставлять на причал. Если бункероваться всё время в одном месте, то бустерный модуль можно хранить на причале (если будет достигнута договорённость с портом).

ВЫВОДЫ. Технической особенностью разработанного проекта паромов нового поколения является соответствие самым современным требованиям по безопасности, включая требования по экологической безопасности — он работает на СПГ. Паром проекта CNF19M спроектирован и строится с максимально возможными габаритными размерениями и характеристиками под линию Усть-Луга–Балтийск. Это современное, безопасное и экономичное судно, которое позволит совершать 135 круговых рейсов в год, перевозить 8910 вагонов в год или 534600 тонн груза. Продолжительность рейса при условии бункеровки во время грузовых операций — 2,7 суток.

Применение СПГ в качестве основного судового топлива на железнодорожных паромах обладает принципиальными преимуществами по сравнению с использованием малосернистого ДТ или ТТ со скруббер-системами очистки выхлопных газов от окислов серы, так как позволяет полностью исключить выбросы серы, существенно сократить выбросы оксидов азота и углерода, а также твёрдых частиц и уровень выбросов окислов азота (NO_x) соответствует требованиям МАРПОЛ Tier III, которые вступили в силу с 1 января 2016 года, без применения дополнительных систем очистки газов.

Использование отечественного технического опыта и возможностей криогенной техники позволит за короткий срок обеспечить широкое применение СПГ на судах. Создание береговой инфраструктуры заправки судов природным газом не потребует продолжительного времени и больших капитальных затрат. По оценкам специалистов, при наличии средств на проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию опытного комплекса может потребоваться не более полутора лет. Экономические и экологические результаты позволят окупить затраты за 5–7 лет [3; 6].

Список литературы

- [1] Егоров, Г. В., Ильницкий, И. А., & Черников, Д. В. (2015). Особенности проектирования конструкции железнодорожного парома для линии Усть-Луга–Балтийск–Засниц–Мукран. *Труды НТК по СМК памяти проф. П. Ф. Панковича*. Санкт-Петербург: Крыловский государственный научный центр, 24-25.
- [2] *Правила классификации и постройки судов для перевозки сжиженных газов наливом* (2016). Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства.
- [3] Пронин, Е. Н. *Зелёный свет «Голубому коридору»*. Сайт Национальной газомоторной ассоциации. Получено с http://www.ngvrus.ru/st6_1.shtml (дата обращения: 31.01.2019).
- [4] Det Norske Veritas (2001). Rules for classification of ships. Newbuildings. Special equipment and systems additional class. Part 6, Chapter 13. *Gas fuelled engine installations*, January.
- [5] International Maritime Organization. Resolution MSC.285(86). Interim Guidelines on safety for natural gas-fuelled engine installations in ships.
- [6] McArthur, R. (2011). Gas-fuelled mechanical propulsion solutions offer major emissions reductions. *Twentyfour7*, 1, 66-68.
- [7] North European LNG Infrastructure Project: A feasibility study for an LNG filling station infrastructure and test of recommendations. Draft Feasibility Report. Retrieved from http://www.lngbunkering.org/sites/default/files/2012%20DMA%20North%20European%20LNG%20Infrastructure%20Project_0.pdf (дата обращения: 31.01.2019).
- [8] Wartsila Engines (2009). *Wartsila 20DF*. Wärtsilä Corporation Book's Office.

© Г. В. Егоров, И. А. Ильницкий, О. Г. Егоров, Д. В. Черников

Статью рекомендует до друку
д-р техн. наук, проф. В. О. Некрасов