

Францев М. Э., к. т. н.  
Симбирцев А. Л.  
Францев И. М.

# Программный комплекс для проектирования судов из композиционных материалов

II место



Композиты  
без границ  
ИДЕЯ 2019

В условиях рыночной экономики одной из главных задач в проектировании судов становится повышение конкурентоспособности проекта судна. Это требование может быть реализовано за счет следующих мероприятий:

- обеспечения судну при проектировании повышенных, по сравнению с судами — претендентами, потребительских качеств без пропорционального повышения строительной стоимости судна и стоимости его эксплуатации;
- повышения качества проектных работ, особенно на ранних стадиях проектирования;
- уменьшения издержек на многовариантные проработки и сокращения общих сроков выработки проекта.

Современные экономические условия предъявляют требование обеспечения эффективности работы судна в сочетании с обеспечением его экономически обоснованного жизненного цикла.

Судостроение является областью, где композиты применяются достаточно давно. Применение композитов позволяет создавать суда с совершенными гидродинамическими характеристиками и высокой весовой эффективностью, а также значительно сократить сроки строительства судна по сравнению с судами из традиционных материалов. Мировой судостроительный опыт свидетельствует о высокой экономической эффективности производств судов из композитов.

Современные стандарты проектирования предусматривают последовательное снижение затрат на такие наиболее дорогие и сложные разделы проекта, как разработка гидродинамического комплекса, а также прочностные расчеты, которые реализуются на базе единожды выполненных научных исследований и накопленного опыта эксплуатации. Этим же обусловлена все более широкая замена при разработке проекта натурного эксперимента численным расчетом. При этом судно должно обладать сбалансированной совокупностью эксплуатационных качеств, отвечающих ожиданиям потенциальных заказчиков. Поэтому в современных условиях быстрого технологического развития экономики весьма остро стоит вопрос об оптимизации конструкции малотоннажного судна из композиционных материалов, проектирование которого ограничено ресурсами, когда у разработчика нет возможности искать оптимальное решение методом проб и ошибок.

Известно, что в области мирового малотоннажного судостроения, подобно автомобилестроению, сформировалась практика создания модельных рядов малых судов, которая позволяет производителям эффективно конкурировать между собой. Очень часто при разработке новой модели малого судна производители ориентируются на наличие или отсутствие в предполагаемом размерном интервале продукта конкурентов. Предполагаемые характеристики новой модели судна предлагаются в первую очередь маркетологами на основании проведенного анализа рынка и в дальнейшем уточняются конструкторами в

процессе проектирования. Существенным конкурентным преимуществом современного производителя является своевременное обновление им модельного ряда выпускаемых судов.

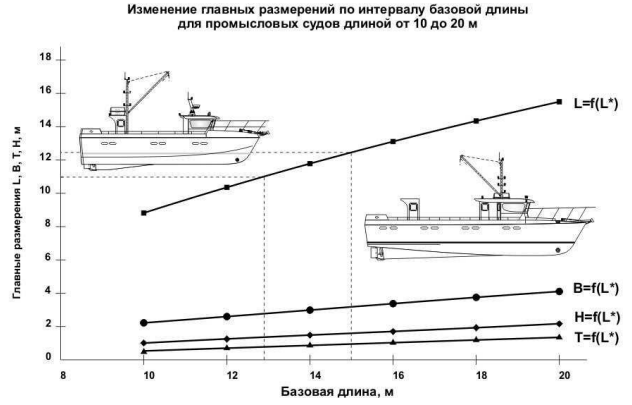
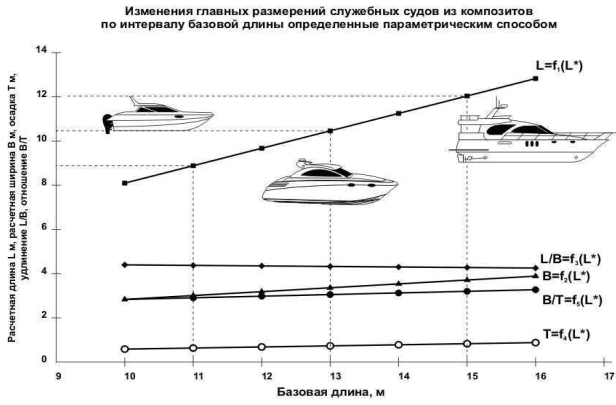
Поэтому центральной задачей создания программного комплекса является разработка способа проектирования судов из композитов по критерию экономической эффективности численными методами. Применительно к конструкциям из композитов этот критерий трансформируется в требования обеспечения их весовой эффективности и совершенства форм.

## Постановка задачи

Создание корпуса судна из композитов по критерию весовой эффективности обуславливает ограничение толщины его элементов в виде многослойных оболочек, и связанные с этим повышенные требования к их прочности и устойчивости. Известно, что возникающие при создании и в процессе эксплуатации в конструкциях из композитов внутренние дефекты являются важным фактором, ухудшающим эксплуатационные качества конструкций. Возникновение и развитие этих дефектов в судовых корпусных конструкциях из композита ведет к снижению их прочностных качеств и способности противостоять неблагоприятным эксплуатационным воздействиям. Все это сокращает срок жизненного цикла корпуса судна. Поэтому важной задачей в области создания судовых конструкций из композитов является учет при проектировании их эксплуатационного поведения, обусловленного доминирующими факторами эксплуатации, определение изменения характеристик прочности и долговечности конструкций в процессе их эксплуатации и в конечном итоге обеспечение экономически обоснованного жизненного цикла.

Сегодня большую часть мирового малотоннажного промышленного, служебно-разъездного и прогулочного флота составляют суда, имеющие корпуса из неметаллических композитов, однако в современной России они проектируются и строятся в весьма ограниченных количествах. Это приводит к переориентации ряда отечественных судовладельцев на продукцию зарубежного судостроения. Несмотря на это, отечественное судостроение по-прежнему располагает огромным потенциалом в области науки и технологий. Опыт эксплуатации малых судов из композитов зарубежной постройки в российских условиях выявил ряд их специфических недостатков. Поэтому на суда из композитов отечественной постройки различного типа и назначения, созданные непосредственно для российских условий эксплуатации, существует большой внутренний спрос. При условии конкурентоспособности технических и экономических решений у таких судов также существует значительный экспортный потенциал.

Для расширения возможностей создания отечественных судов из композитов в настоящее время необходимо решить ряд проблем как в области совершенствования проектных характеристик судов и



Глиссеры

Длина базовая: 14.5

Длина расчетная	11.18855		
Ширина расчетная	3.565213		
Осадка	0.848312	8344327	
Высота борта	2.245407		
Коэффициент полноты	0.3531512		
Полная масса	12.08327	11.95021	11.81449
Водоизмещение порожнем	9.252455	9.351048	
Запас топлива	1.295516		
Пассажиры	8900368		
Вода	3764853		
Ледяной	2.692226	2.562038	
Вместимость	142.3467		

Промысловые суда

Длина базовая: 17

Длина расчетная	13.39677		
Ширина расчетная	3.495498		
Осадка	1.089699		
Высота борта	1.798034		
Коэффициент полноты	0.454538		
Полная масса	23.08492	22.78524	22.30248
Масса корпуса	9.162452		
Масса механизмов	890553		
Водоизмещение порожнем	10.0477		
Грузоподъемность	6.416725	6.369109	
Запас топлива	3386619		
Запас	7230344		
Вода	9926764		
Ледяной	11.81747		

Рисунок 1. Пример работы программного модуля «Главные размерения и коэффициенты»

Полная масса и полезная нагрузка АСВП с элементами из композитов с двухярусным ГО по интервалу базовой длины определенными параметрическим способом

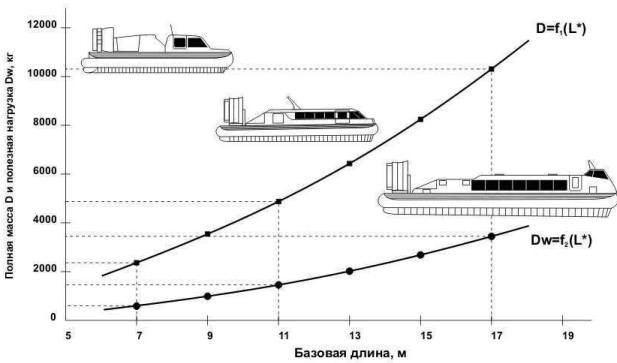


Рисунок 2. Пример работы программного модуля «Элементы нагрузки масс»

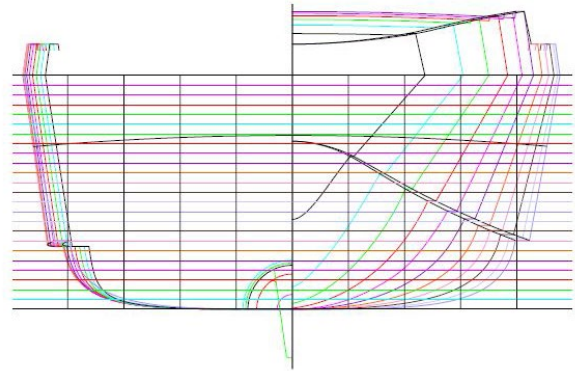


Рисунок 3. Пример работы программного модуля «Плавучесть и начальная остойчивость»

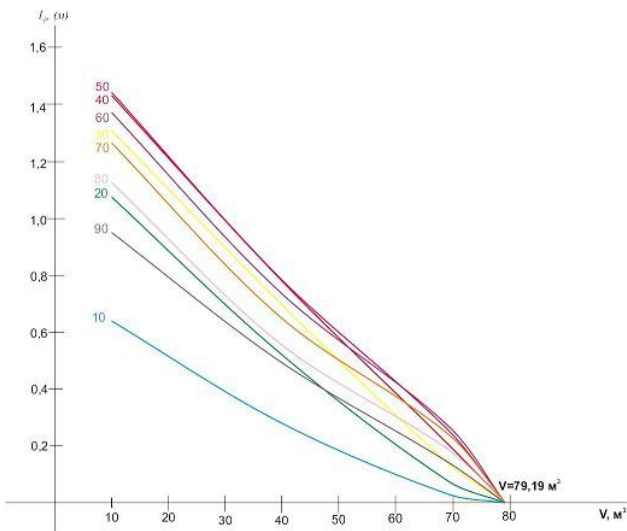
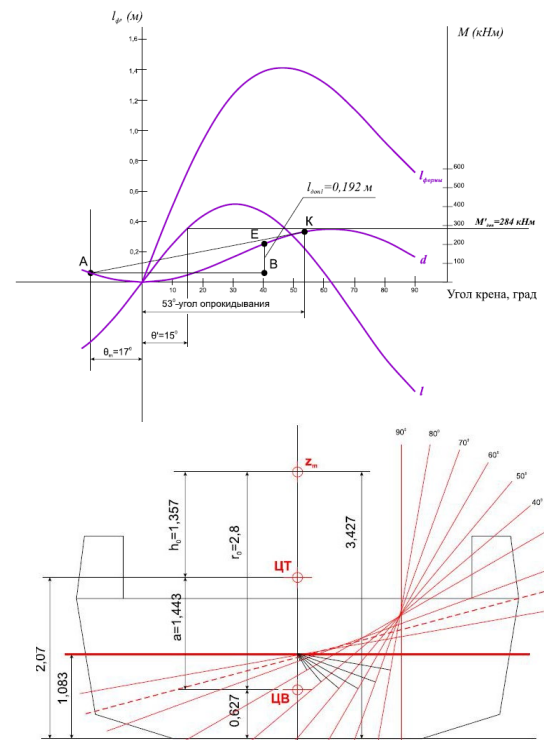


Рисунок 4. Пример работы программного модуля «Остойчивость на больших углах крена»



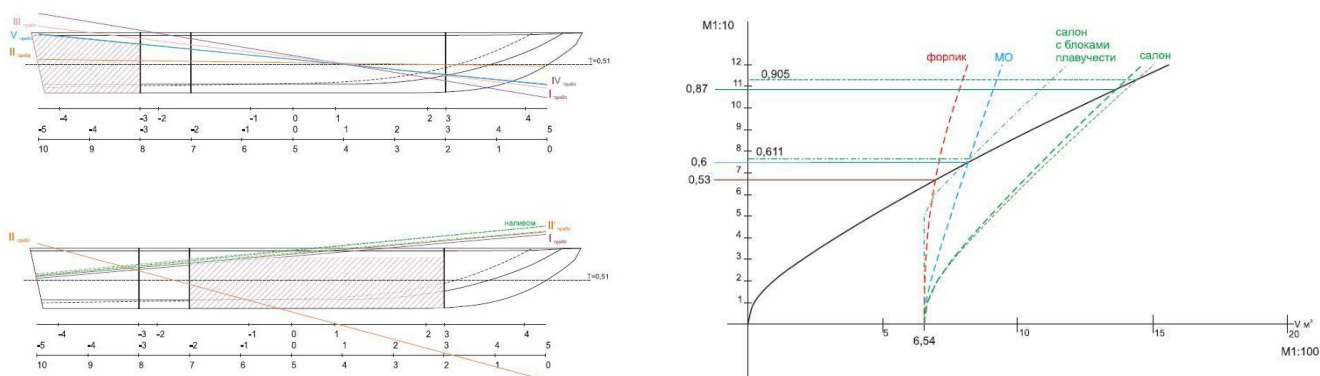


Рисунок 5. Пример работы программного модуля «Непотопляемость»

Изменение суммарного пропульсивного качества в форме Адмиралтейского коэффициента от полной массы и Числа Фруда по водонесению

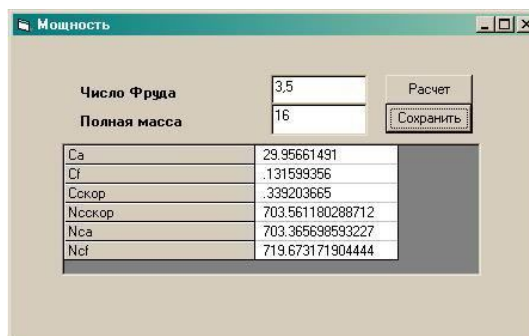
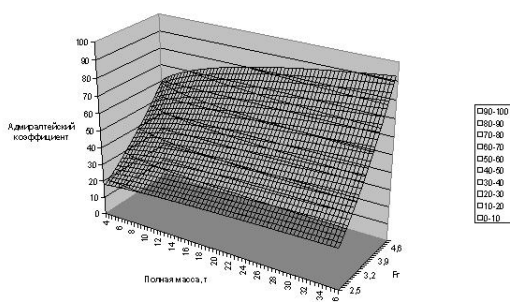


Рисунок 6. Пример работы программного модуля «Мощность и ходкость»

их оптимизации, так и в области улучшения структуры всего процесса проектирования. Необходима разработка способов проектирования таких судов, учитывающая различные аспекты их последующей эксплуатации и обеспечивающая их конкурентоспособность.

Целью создания программного комплекса проектирования судов из композиционных материалов является получение отечественного программного обеспечения, позволяющего небольшим командам разработчиков, а также отдельным проектантам создавать продукт мирового уровня в виде судов из композиционных материалов с надлежащими эксплуатационными качествами и характеристиками долговечности при оптимальных затратах вычислительных ресурсов и материальных средств.

## Решение

Программный комплекс проектирования судов из композиционных материалов представляет собой взаимосвязанную последовательность принятия проектных решений численными методами, опирающихся на специально разработанные методы и технологии. Программный комплекс предназначен для проектирования судов из композитов длиной до двадцати метров различного назначения. Он увязан с общей схемой оптимизации проектных характеристик судна. Программный комплекс позволяет разрабатывать корпус судна в виде многослойной оболочки из композитов. Применение данного программного комплекса позволяет обеспечивать судну необходимые эксплуатационные качества, включая обеспечение технико-экономических требований.

В рамках создания программного комплекса проектирования судов из композиционных материалов

выполнены следующие работы и мероприятия:

- разработаны принципы проектирования корпуса скоростного судна из композитов по условиям его весовой эффективности и обеспечения жизненного цикла, подробнее [1];
- выполнены проектные обоснования принципов создания отдельных элементов судов из композиционных материалов, подробнее [2–3];
- выполнены проектные обоснования оптимизации отдельных проектных характеристик судов из композиционных материалов, подробнее [4–7];
- выполнены проектные обоснования оптимизации эксплуатационных и экономических характеристик скоростных судов из композиционных материалов, а также анализ их конкурентоспособности при проектировании, подробнее [8–11];
- выполнен анализ требований Правил Российского Речного Регистра к судам из композиционных материалов различных типов, в том числе их проектированию с использованием численных методов, подробнее [12];
- разработаны математические модели для отдельных элементов программного комплекса, подробнее [13–17];
- разработаны отдельные элементы программного комплекса: «Главные размерения и коэффициенты» (рис. 1), «Элементы нагрузки масс» (рис. 2), «Плавучесть и начальная стойчивость» (рис. 3), «Остойчивость на больших углах крена и проверка по Правилам Регистра» (рис. 4), «Непотопляемость и проверка по Правилам Регистра» (рис. 5), «Мощность и ходкость» (рис. 6), «Технико-

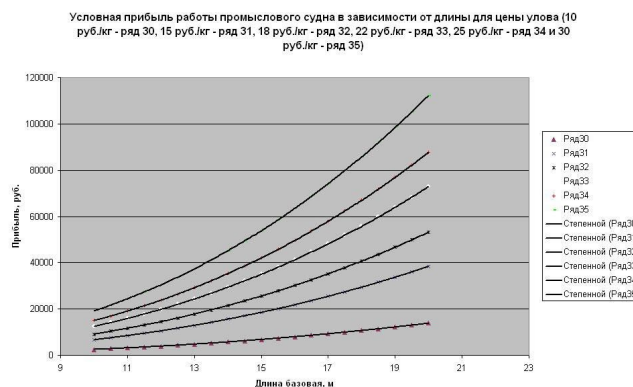
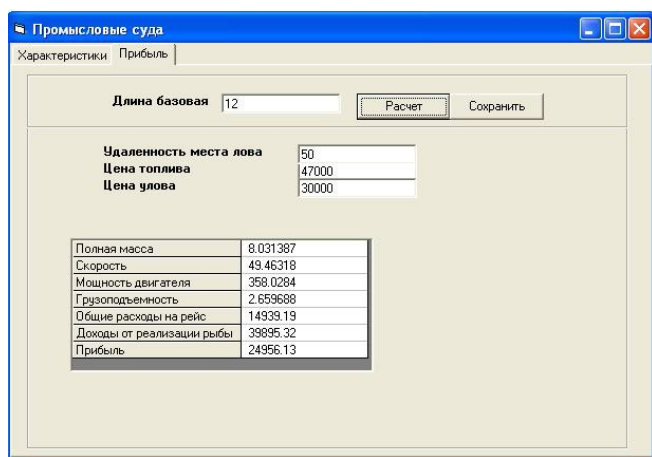


Рисунок 7. Пример работы программного модуля «Технико-экономические расчеты»

- экономические расчеты» (рис. 7), подробнее [18–24];
- произведена апробация и верификация результатов, полученных при использовании отдельных элементов комплекса, в том числе при разработке проектов судов, содержащих элементы из композиционных материалов, согласованных Российским Речным Регистром, подробнее [25–27];
  - в разработке находится модуль «Прочность элемента корпуса судна из композитов с внутренними дефектами типа расслоение»

## Заключение

Несмотря на то, что до завершения работ по созданию программного комплекса проектирования судов из композиционных материалов, а тем более до реальной коммерциализации этой идеи пока еще очень далеко, комплекс позволяет решать задачи по проектированию реальных судов. В частности, с помощью программного комплекса разработан проект отечественного промыслового судна прибрежного лова, полностью изготовленного из композиционных материалов.

17 октября 2019 года в Москве в Центре цифрового лидерства состоялся седьмой по счету ежегодный форум «Композиты без границ». Мероприятие стало рабочей площадкой для обсуждения глобальной технологической повестки в отрасли композитов. В этом году форум «Композиты без границ» был посвящен оценке рынка композитов в России и мире, а также обсуждению трендов и тенденций роста и развития, технологий производства композитов и готовых изделий, новых применений композитов, примеров их успешного внедрения, а также импортозамещения в стратегических отраслях промышленности.

Во время форума были объявлены победители конкурса «Композиты без границ. Идея», проводившегося совместно с Московским авиационным институтом, и состоялась церемония вручения премии конкурса. По итогам голосования жюри второе место было присуждено автору статьи с коллегами за проект «Программный комплекс проектирования судов из композиционных материалов».

Команда разработчиков продолжает работу над этим проектом. **КМ**

## Литература

1. Францев М. Э. Принципы проектирования корпуса скоростного судна из композитов по условиям его весовой эффективности и обеспечения жизненного цикла // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2016. – № 41. – С. 196–208.
2. Францев М. Э. Создание надстройки из композитов пассажирского судна на подводных крыльях с позиций обеспечения ее весовой эффективности и характеристик долговечности // Сборник трудов научно-технической конференции по строительной механике корабля, посвященной памяти академика Ю. А. Шиманского. – СПб., 2016. – С. 106–107.
3. Францев М. Э. Создание надстройки из композитов пассажирского судна на подводных крыльях с позиций обеспечения ее весовой эффективности и характеристик долговечности // Конструкции из композиционных материалов. – 2018. – № 1. – С. 30–34.
4. Францев М. Э. Проектное обоснование повышения полезной нагрузки амфибийного судна на воздушной подушке за счет применения в его конструкции композиционных материалов // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – № 1. – С. 197–202.
5. Францев М. Э. Проектное обоснование рационального обеспечения характеристик вместимости и обитаемости судов из композитов // Журнал Университета водных коммуникаций. – 2012. – Выпуск 14. – С. 147–155.
6. Францев М. Э. Проектная оценка эксплуатационных нагрузок и характеристик долговечности корпусов судов из композиционных материалов // Морской вестник. – 2008. – № 4(28). – С. 93–98.
7. Францев М. Э. Определение степени потери прочностных свойств и оценка возможности разрушения судовой корпусной конструкции из

- композиционного материала в зоне развития эксплуатационного дефекта типа расслоение // Конструкции из композиционных материалов. – 2016. – № 1. – С. 67–73.
8. Францев М. Э. Анализ эксплуатационных и экономических аспектов в модели проектной оптимизации амфибийных катеров на воздушной подушке, предназначенных для перевозки пассажиров // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2012. – № 2. – С. 179–184.
  9. Францев М. Э. Проектный анализ эксплуатационных и экономических аспектов использования амфибийных катеров на воздушной подушке для круглогодичных и сезонных пассажирских перевозок // Вестник ВГАВТ. – 2012. – №2. – С. 191–198.
  10. Францев М. Э. Проектное обоснование обеспечения характеристик экономичности и конкурентоспособности скоростного пассажирского судна // Сборник трудов конференции 9-е Прохоровские чтения. – Нижний Новгород, 2013. – С. 94–98.
  11. Францев М. Э., Ханухов В. К., Царев Б. А. Проектный анализ конкурентоспособности судов из композиционных материалов // Морской вестник. – 2013. – № 15(10). – С. 9–15.
  12. Российский Речной Регистр. Правила (в 5-ти томах). – М., 2015.
  13. Францев М. Э., Шифман А. Л. Сопоставление форм уравнений ходкости быстроходных судов // Морской вестник. – 2007. – № 3(6). – С. 34–35.
  14. Францев М. Э. Способ корректировки проектных характеристик скоростных судов // Морские интеллектуальные технологии. – 2010. – № 4. – С. 30–33.
  15. Францев М. Э. Способ проектного обоснования главных элементов и других характеристик судов из композиционных материалов при помощи анализа баз данных // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия Морская техника и технология. – 2011. – № 3. – С. 37–46.
  16. Францев М. Э. Проектное обоснование оптимальных сочетаний характеристик массы, мощности и скорости для скоростных судов из композитов методами анализа баз данных // Наука и техника транспорта. – 2010. – № 3. – С. 53–59.
  17. Францев М. Э. Проектный анализ различных форм уравнения «Мощности – Ходкости» при разработке проекта скоростного судна из композитов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 1. – С. 220–224.
  18. Францев М. Э. Использование параметрических методов на ранних этапах разработки проекта судна из композитных материалов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия Морская техника и технология. – 2014. – № 1. – С. 33–42.
  19. Францев М. Э. Использование параметрических методов на ранних этапах разработки проекта судна из композитных материалов // Судостроение. – 2014. – № 3. – С. 10–15.
  20. Францев М. Э. Использование параметрических методов на ранних этапах разработки проекта амфибийных судов на воздушной подушке, полностью или частично изготовленных из композитов // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – № 1. – С. 172–179.
  21. Францев М. Э., Францев И. М. Использование численных методов при реализации задачи параметрического проектирования промыслового судна прибрежного лова из композитов // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2014. – № 32. – С. 265–274.
  22. Францев М. Э., Францев И. М. Использование численных методов при реализации задачи параметрического проектирования промыслового судна прибрежного лова из композитов // Судостроение. – 2014. – № 4. – С. 30–34.
  23. Францев М. Э. Проектные обоснования создания надстройки из композитов для пассажирского судна на подводных крыльях с использованием способа параметрического проектирования // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2016. – № 1. – С. 211–221.
  24. Францев М. Э., Францев И. М. Способ определения суммарного пропульсивного качества гидродинамического комплекса при проектировании глассера из композитов // Вестник университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова – 2015. – № 6. – С. 111–121.
  25. Францев М. Э. Восстановление теоретических элементов плавучести судна с использованием численных методов при обработке результатов опыта кренования // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Серия «Науки о природе и технике». – 2016. – № 1(25). – С. 115–122.
  26. Францев М. Э. Способы верификации проектных решений, полученных численными методами, при создании судов и их крупных элементов из композиционных материалов с позиций обеспечения их характеристик долговечности // Сборник тезисов докладов VIII Международной конференции «Композиты СНГ». – Сочи, 2018. – С. 3–14.
  27. Францев М. Э. Способы верификации проектных решений, полученных численными методами, при создании судов и их крупных элементов из композиционных материалов с позиций обеспечения их характеристик долговечности // Композитный мир. – 2018. – № 6 (81), 2018. – С. 62–74.

