



**Францев М. Э.**  
Ахто-Пласт-Эксперт, Россия

## Проектный анализ прогулочных судов из композиционных материалов коммерческого назначения

В настоящей статье выполнен проектный анализ характеристик прогулочных судов из композиционных материалов коммерческого назначения зарубежной постройки на интервале наибольшей длины 9-16 м. Описан архитектурно-конструктивный тип однокорпусного прогулочного судна из композиционных материалов коммерческого назначения. Приведено его общее расположение и план палубы. Проектные характеристики прогулочных судов выполнены в виде таблицы. Выполнены расчеты следующих характеристик методами регрессионного анализа: главных размеров, полной массы, водоизмещения порожнем, дедвейта, удлинения, мощности главных двигателей, энерговооруженности (без дизель - генераторов), коэффициента полноты водоизмещения и ряда других. Описаны принципы конструирования и формования судовых корпусных конструкций из композитов.

В условиях современной рыночной экономики с большим количеством неопределенностей оптимизация судна в традиционной постановке, охватывающая, как внешнюю, так и внутреннюю задачи проектирования, представляется невозможной. Поэтому для современного проектировщика необходим формализованный механизм перехода от внешней задачи проектирования к внутренней задаче, и наоборот. Иными словами, возникает необходимость в связующем звене между внешней и внутренней задачами проектирования. Наиболее актуально существование такого звена при создании перспективных типов судов, которые не имеют близких прототипов в практике отечественного судостроения, к которым может быть отнесено подавляющее большинство судов из композитов гражданского назначения. Такое связующее звено необходимо для обоснования различных аспектов задач применения судна и координации их решения с задачами макроэкономики и микроэкономики. Использование в процессе проектирования нового для проектанта типа судна приемов исследовательского проектирования на базе методов различного анализа позволяет преодолеть разрыв между имеющимся у разработчика опытом проектирования и технической эксплуатации других судов и экономически и технологически обоснованными требованиями, предъявляемыми к новому проекту [1].

С учетом того, что большинство расчетов проектанту на стадии разработки технического задания приходится выполнять самостоятельно и за счет собственных средств, а также в условиях ограниченного лимита времени, имеющегося при переговорах с потенциальными заказчиками, ему необходим эффективный механизм, позволяющий быстро и, главное, достоверно отвечать на возникающие вопросы. Отсюда стремление проектировщиков всего мира разработать эффективные и объективные математические модели, позволяющие ускорить и удешевить начальные этапы проектирования.

Необходимо отметить, что «сроки жизни» проектов судов гражданского назначения значительно короче, чем аналогичные характеристики проектов боевых кораблей. Это, не в последнюю очередь, связано с высокой скоростью изменения мировой экономической конъюнктуры, которую необходимо учитывать при проектировании гражданского судна, особенно, малотоннажного.

Сформировав методами исследовательского проектирования область допустимых значений главных размерений и других характеристик судна и определив налагаемые на нее ограничения, с точки зрения условий эксплуатации, в том числе, их экономических аспектов, можно переходить, непосредственно, к выбору варианта судна, наиболее близкого поставленной цели проектирования. Необходимо отметить, что выбор предпочтительного варианта при этом определяется не только задачей оптимизации, но и рядом не формализуемых закономерностей, определяемых субъективными соображениями, связанными с человеческой природой, например, особенностями

психологии потенциальных потребителей судна, их ожиданиями.

Результатом, полученным при определении области допустимых значений характеристик вновь проектируемого судна из композиционных материалов, является множество значений соотношений главных размерений и других характеристик судна. Эти значения определяются разработчиком, как методами математического анализа при обработке баз данных, так и методом экспертных оценок.

Использование современного информационного поля, позволяет достоверно формировать критерии оценки, интересующие, как заказчика, так и проектанта. Вычислительные механизмы оценки тех или иных параметров проекта, а также дополнение вычислительных методов методами экспертных оценок, реализованными на базе этого информационного поля, позволяют сформировать область допустимых значений рассматриваемых параметров.

### Постановка задачи

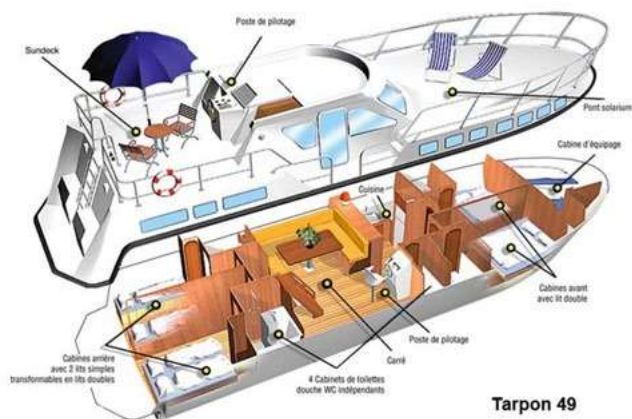
Проектирование судна из композитов представляет собой триединую задачу, включающую проектирование собственно конструкции судна, проектирование технологии изготовления ее основных элементов, а также проектирование композиционного материала для конструкции на базе определенных исходных материалов и технологий.

Изучив характеристики нескольких десятков проектов прогулочных судов коммерческого назначения, используемых основными судоходными компаниями Европы, предоставляющими подобные услуги, можно определить основные интервалы изменения проектных характеристик. Подавляющее большинство современных судов из композиционных материалов, применяемых для канального и речного туризма в Европе, имеют длину в диапазоне от 9 до 15 метров, ширину в диапазоне от 3,60 до 4,65 метров, осадку 0,65-0,82 метров, надводный габарит 2,70-3,10 метров. Суда имеют мощность от 40 до 120 л.с. В надстройках размещается от 2 до 5 кают, в которых может быть суммарно до 12 спальных мест (включая разборные кровати для детей). Количество санузлов может доходить до 4 штук на судно (при длине 15 м). Эти характеристики определяются коммерческим назначением судов. В остальном же, прогулочные суда коммерческого назначения характеризуются большим различием конструктивных решений [2].

В то же время, при всем многообразии созданных в Европе (в основном, во Франции) прогулочных судов коммерческого назначения, предназначенных для эксплуатации на внутренних водных путях, включая искусственные водоемы, в первую очередь, каналы, наиболее востребованными оказались суда типа Tarpon. В 1991 году на новой верфи было начато строительство второй линейки судов из композитов для каналов моделью Tarpon 42. В дальнейшем, до середины 1990-х годов верфь выпустила еще серию судов Tarpon 37. Начиная с 2001 года, верфь осваивала новые модели судов из композитов для каналов



**Рисунок 1.** Прогулочные суда из композиционных материалов коммерческого назначения, сверху вниз: Tarpon 32, Tarpon 37, Tarpon 42, Tarpon 49



**Рисунок 2.** Общее расположение прогулочного судна «Tarpon-49»



**Рисунок 3.** План палубы судна из композиционных материалов «Tarpon-49»

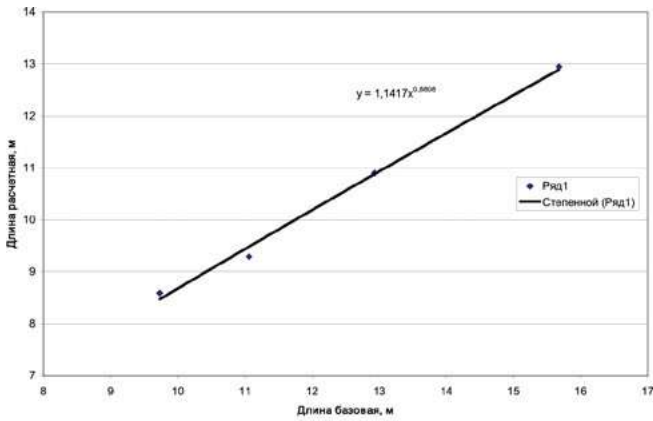
Tarpon 49 и Tarpon 32, Некоторые проекты судов были сертифицированы для морского судоходства, что позволило существенно расширить сбыт судов, в том числе, за пределы Франции (рис. 1).

Более высокие мореходные качества прогулочных судов из композитов проектов Tarpon позволили существенно расширить географию их использования. В настоящее время, они, кроме большинства регионов Франции, используются также в Италии, Польше, Германии и Нидерландах [3–8].

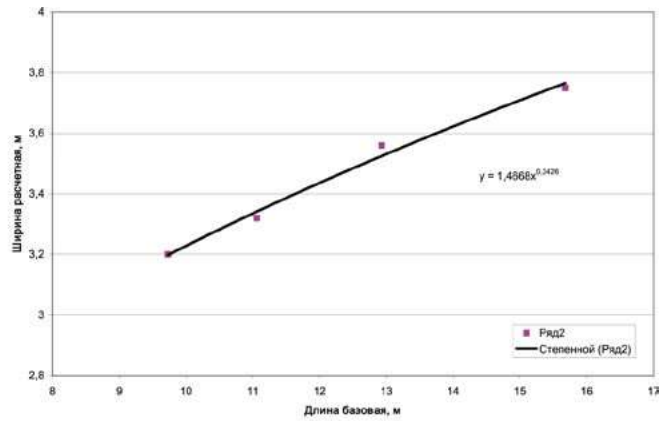
Линейка проектов прогулочных судов из композитов коммерческого назначения Tarpon (Таблица 1) позволяет построить параметрический ряд судов и сформировать базу данных, которая может быть обработана методами регрессионного анализа. Для идентификации зависимостей главных элементов и других проектных характеристик судов из композитов

**Таблица 1.** Проектные характеристики прогулочных судов из композитов типа Tarpon

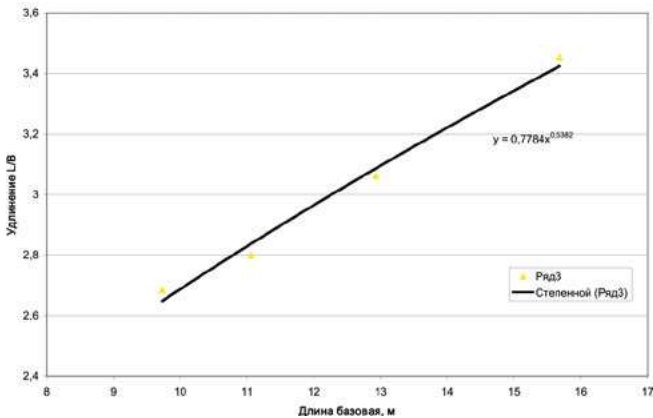
Проектная характеристика	Tarpon 32	Tarpon 37	Tarpon 42	Tarpon 49
Длина габаритная, м	9,73	11,06	12,93	15,68
Длина расчетная, м	8,59	9,29	10,9	12,95
Ширина расчетная, м	3,2	3,32	3,56	3,75
Удлинение L/B	2,68	2,79	3,06	3,45
Осадка, м	0,65	0,7	0,8	0,82
Отношение В/Т	4,92	4,74	4,45	4,57
Водоизмещение порожнем, т	6	8	10	11
Дедвейт, т	2,8	3,1	3,8	4
Полное водоизмещение, т	8,8	11,1	13,8	15
Мощность, л.с.	40	40	50	115
Энерговооруженность N/D л.с./т	4,54	3,60	3,62	7,67
Коэффициент полноты водоизмещения	0,490	0,514	0,444	0,377
Коэффициент утилизации по дедвейту	0,318	0,279	0,275	0,267



**Рисунок 4.** Изменение расчетной длины прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины



**Рисунок 5.** Изменение расчетной ширины прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины



**Рисунок 6.** Изменение удлинения L/B прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины

от их базовой длины (длины по несъемным частям) необходимо сформировать и сопоставить дискретные множества значений этих характеристик и аппроксимировать их по степенному закону в заданном интервале значений каждой из величин. Используя аппроксимирующие функции, можно получить достаточно достоверные зависимости, позволяющие определять главные элементы судна и другие его характеристики, такие, например, как дедвейт, или водоизмещение порожнем в первом приближении достаточно эффективно [9].

### Решение задачи

Прогулочные суда из композитов Tarpon имеют длину в диапазоне от 9,7 до 15,7 метров, ширину в диапазоне от 3,91 до 4,20 метров, осадку 0,65–0,82 метров, надводный габарит 2,70–2,95 метров. Суда имеют мощность от 40 до 115 л.с. В надстройках размещается от 2 до 5 кают, в которых может быть суммарно до 12 спальных мест (включая разборные кровати для детей). Количество санузлов может достигать до 4 штук на судно (при длине 15 м) [3–8].

На рисунке 1 приведен внешний вид прогулочных судов из композитов коммерческого назначения типа Tarpon четырех проектов.

Архитектурно-конструктивный тип судов типа

Tarpon имеет следующие особенности. Они имеют протяженную от носа до кормы надстройку. Ходовая рубка расположена в средней части. Все суда этого проекта имеют прогулочную палубу на крыше кормовой части надстройки и два поста управления: один внутри ходовой рубки, второй снаружи — на ее крыше. На крыше носовой части надстройки находится солярий.

В результате выполненного проектного анализа получены математические зависимости, отражающие рациональные соотношения прогулочных судов из композитов базовой длиной (LH) от 9 до 16 м. Проверка сбалансированности полученных значений проведена по проектировочным уравнениям: Плавуности и Нагрузки масс [11]. Суда данного типа эксплуатируются исключительно в водоизмещающем режиме движения.

Изменение расчетной длины прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины изображено на рис. 4 и оно описывается уравнением:

$$L = 1,1417L_H^{0,8808}$$

Изменение расчетной ширины прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины изображено на рис. 5 и оно описывается уравнением:

$$B = 1,4668L_H^{0,3426}$$

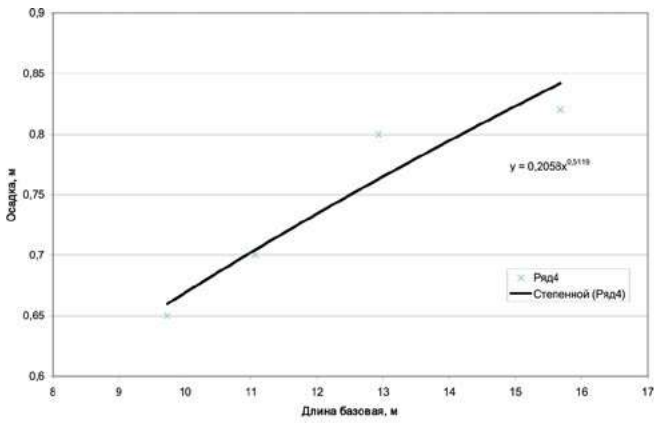
Изменение удлинения L/B прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины изображено на рис. 6 и оно описывается уравнением:

$$\frac{L}{B} = 0,7784L_H^{0,5382}$$

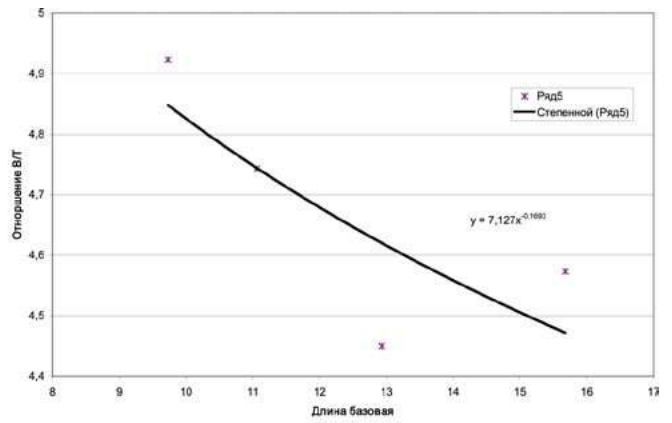
Изменение осадки прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины изображено на рис. 7 и оно описывается уравнением:

$$T = 0,2058L_H^{0,5119}$$

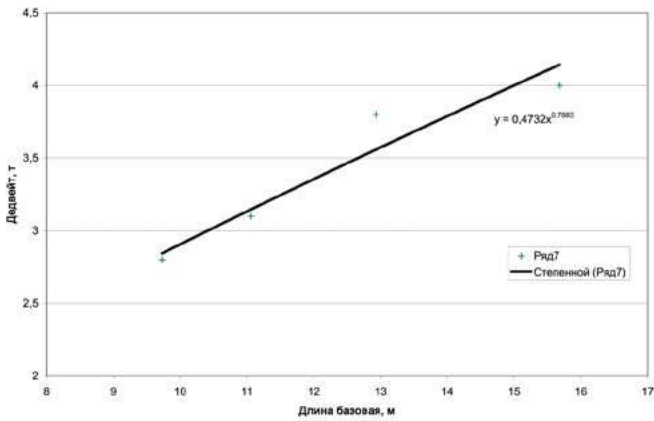
## Применение



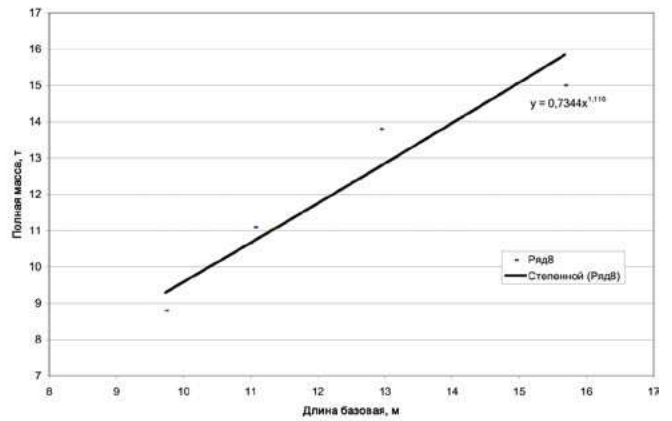
**Рисунок 7.** Изменение осадки прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины



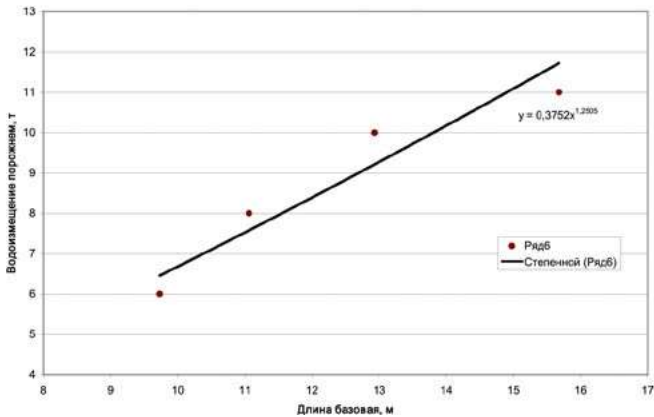
**Рисунок 8.** Изменение отношения В/Т прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины



**Рисунок 9.** Изменение полной массы прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины



**Рисунок 10.** Изменение водоизмещения порожнем прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины



**Рисунок 11.** Изменение дедвейта прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины

Изменение отношения В/Т прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины изображено на рис. 8 и оно описывается уравнением:

$$\frac{B}{T} = 7,127L_H^{-0,1693}$$

Изменение полной массы прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интер-

валу базовой длины изображено на рис. 9 и оно описывается уравнением:

$$D_{ПОР} = 0,3752L_H^{1,2505}$$

Изменение водоизмещения порожнем прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины изображено на рис. 10 и оно описывается уравнением:

$$DW = 0,4732L_H^{0,7883}$$

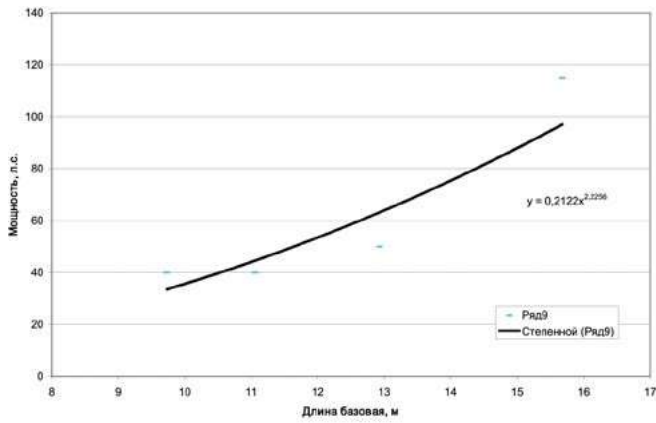
Изменение дедвейта прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины изображено на рис. 11 и оно описывается уравнением:

$$N = 0,2122L_H^{2,2256}$$

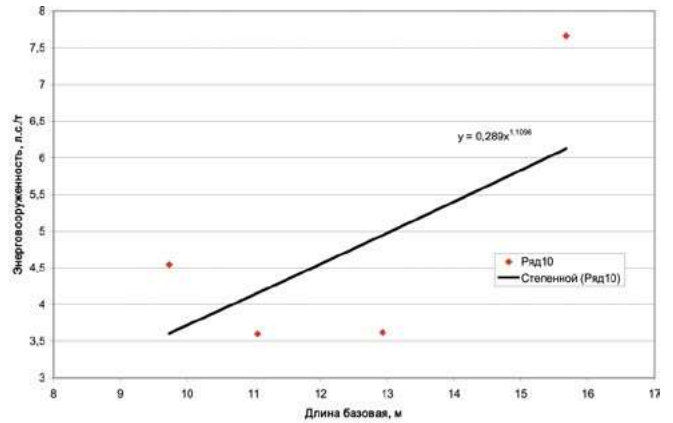
Изменение мощности прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины изображено на рис. 12 и оно описывается уравнением:

$$E_N = 0,289L_H^{1,1096}$$

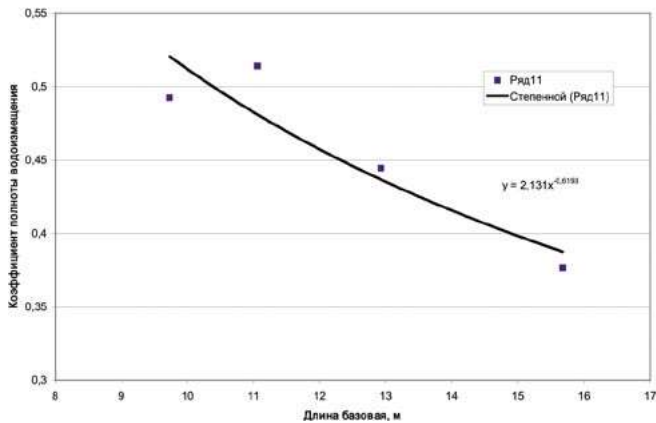
## Применение



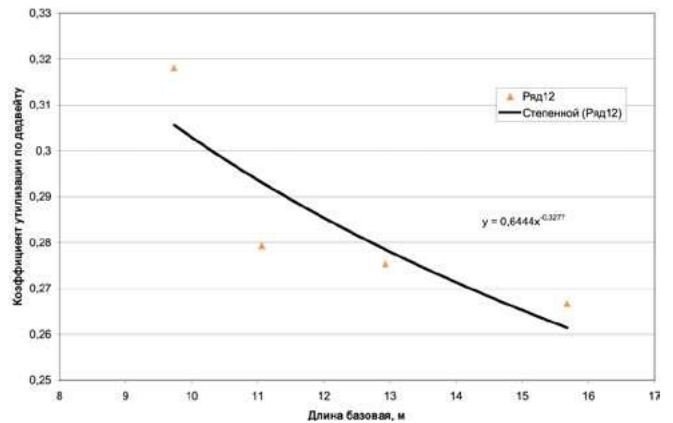
**Рисунок 12.** Изменение мощности прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины



**Рисунок 13.** Изменение энерговооруженности прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины



**Рисунок 14.** Изменение коэффициента полноты водоизмещения прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины



**Рисунок 15.** Изменение коэффициента утилизации по дедвейту прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины



**Рисунок 16.** Основные конструктивно-технологические решения, применяемые при постройке прогулочных судов коммерческого назначения типа Тагроп. Формование корпуса и установка в него переборок и выгородок (слева сверху); Подготовка к установке секции палубы (справа сверху); Секция палубы после извлечения из оснастки (слева снизу); Установка секции палубы с насыщением на корпус (справа снизу).

Изменение энерговооруженности прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины изображено на рис. 13 и оно описывается уравнением:

$$\delta = 2,131L_H^{-0,6193}$$

Изменение коэффициента полноты водоизмещения прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины изображено на рис. 14 и оно описывается уравнением:

$$\eta_{DW} = 0,6444L_H^{-0,3277}$$

Изменение коэффициента утилизации по дедвейту прогулочного судна из композитов коммерческого назначения по интервалу базовой длины изображено на рис. 15 и оно описывается уравнением:

Корпус и надстройка судов из композитов Tarpon (см. рис. 16) изготовлены методом контактного формования из армирующих материалов на основе нетканого стекловолокна (стекломатов) и полиэфирной смолы.

Толщина однослойной наружной обшивки корпуса выбрана таким образом, чтобы она не могла пострадать при швартовках, а также при случайном касании подводной части каналов. Надводный борт защищен несколькими рядами резиновых привальных брусьев. Толщина обшивки корпуса составляет не менее 23 мм. Она имеет однослойную конструкцию. По такой же схеме выполнена конструкция надстройки. В тех местах, где на надстройке могут находиться люди, ее толщина увеличена. Из стеклопластика методом контактного формования изготовлены все элементы санузлов, моек и т.п. Переборки и выгородки выполнены из водостойкой фанеры покрытой шпоном. Из специальной водостойкой фанеры выполнены также настилы в пассажирских помещениях внутри надстройки. Качество отделки внутренних помещений высокое, но отсутствуют декоративные элементы, которые принято устанавливать на лодках, предназначенных для частных лиц [10-12].

Проектирование и постройка судов данного типа могут быть полностью реализованы в рамках Правил отечественных классификационных обществ [13].

## Заключение

В данной статье выполнен проектный анализ прогулочных судов коммерческого назначения из композиционных материалов зарубежной постройки, приведены их главные размерения и другие проектные характеристики. Выполнен расчет изменения следующих проектных характеристик прогулочных судов из композитов в зависимости от размеров судна:

- расчетная длина;
- расчетная ширина;
- удлинение;
- осадка;
- отношение расчетной ширины к осадке;
- полная масса;

- водоизмещение порожнем;
- дедвейт;
- коэффициент полноты водоизмещения;
- мощность;
- энерговооруженность;
- коэффициент утилизации по дедвейту.

Расчеты представлены в графической и аналитической форме. Описаны конструктивные элементы корпусов из композитов и основные технологические схемы их формирования. Приведены графические иллюстрации. **КМ**

## Список использованных источников

1. Францев М.Э. Исследовательское проектирование судна из композиционных материалов с применением элементов концептуального анализа, как способ перехода от внешней задачи проектирования судна к формированию его логики — математической модели и иерархии подсистем. Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока 2010, №1, стр. 103-106.
2. Францев М.Э. Использование европейского опыта применения прогулочных судов из композиционных материалов для коммерческого использования в России. Композитный Мир 2023, № 1, стр. 40-47.
3. [www.lescanalous.com/en](http://www.lescanalous.com/en)
4. [www.lescanalous.com/en/boat/tarpon-49-qp/](http://www.lescanalous.com/en/boat/tarpon-49-qp/)
5. [www.lescanalous.com/en/boat/tarpon-42-tp/](http://www.lescanalous.com/en/boat/tarpon-42-tp/)
6. [www.lescanalous.com/en/boat/tarpon-37-dp/](http://www.lescanalous.com/en/boat/tarpon-37-dp/)
7. [www.lescanalous.com/en/boat/tarpon-37-dp/](http://www.lescanalous.com/en/boat/tarpon-37-dp/)
8. [www.lescanalous.com/en/boat/tarpon-32/](http://www.lescanalous.com/en/boat/tarpon-32/)
9. 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 № 3, 2011, стр. 37-46.
10. D. Hull and T.W. Clyne. An introduction to composite material. Cambridge University Press, 1996, 327 p.
11. Greene E. Marine composites. Second Edition. Eric Greene Associates, Inc., Annapolis, 1999.
12. Нелюб В.А., Францев М.Э., Бородулин А.С. Технология производства малотоннажных судов из композиционных материалов, - М. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021 – 219 стр.
13. Францев М.Э. Особенности расчетов прочности прогулочного судна из композиционных материалов коммерческого назначения на основе Правил отечественных Классификационных обществ, Труды Всероссийской научно-технической конференции по строительной механике корабля «Бубновские чтения – 2022», СПб, 2022.