

УДК 629.12.001

М.Э. Францев
ПРОЕКТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СКОРОСТНОГО КАТАМАРАНА
МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ КОМПОЗИТОВ
ДЛЯ РЕК СИБИРИ И ДАЛЬНОГО ВОСТОКА

АО «Нептун-Судомонтаж»

В статье рассмотрены особенности эксплуатации судов на малых и боковых реках Сибири и Дальнего Востока. Предложены основные характеристики и конструкция скоростного катамарана модульной конструкции. Судно имеет корпуса, изготовленные из стали, надстройку и рубку, изготовленные из композитов. Имеются пассажирская, грузовая и грузопассажирская модификации. Выполнен расчет расходных характеристик судна в зависимости от пассажироместимости, мощности и скорости. Определены оптимальные сочетания мощности и скоростных характеристик судна по критерию экономической эффективности в заданных эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: Сибирь и Дальний Восток, малые реки, скоростной катамаран, модульные принципы, экономическая эффективность.

Введение

С развитием производительных сил отдельных регионов Сибири и Дальнего Востока грузопотоки и пассажиропотоки все больше смещаются в отдаленные и труднодоступные в транспортном отношении северные районы. Открытие новых месторождений полезных ископаемых, особенно в районах Крайнего Севера, связано с работой различных видов транспорта. Однако в большинстве случаев такие районы не имеют других транспортных связей, кроме боковых и малых рек. Поэтому потребность этих районов в перевозках, в том числе, пассажиров, направляющихся во вновь возникающие населенные пункты в местах разрабатываемых месторождений, а также на места работы геологоразведочных партий, может быть практически удовлетворена только путем включения в хозяйственный оборот неосвоенных ранее для судоходства малых водных путей. В рамках этого процесса предусматривается создание судоходных условий для доставки грузов и пассажиров во вновь осваиваемые труднодоступные районы, прежде всего в районы Крайнего Севера, в том числе по боковым, малым и быстротекущим рекам. Предусматривается расширение географии перевозок за счёт освоения районов со слабо развитой транспортной инфраструктурой, включая развитие перевозок по малым рекам [1-6].

Постановка задачи

Малые реки в транспортной системе Сибири и Дальнего Востока играют особую роль. Протяжённость этой категории водных путей составляет более половины длины речных магистралей региона. В большинстве районов они оказываются основным и даже единственным видом транспортных путей, ориентированных на перевозку массовых грузов и пассажиров и оказывают существенное влияние на развитие производительных сил и в целом на социально-экономическую ситуацию в регионе. Очевидно, что освоение природных богатств Сибири и Дальнего Востока невозможно без участия этой категории водных путей. В ряде районов эти водные пути остаются единственными транспортными связями [1-6]. При этом, по данным исследований Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, за двадцать лет протяжённость судоходных путей России уменьшилась на 28%. По данным пресс-службы правительства Омской области, существует проблема судоходства на реках Западной Сибири – требуется комплексная реконструкция водных путей на реках Томь, Кета, Тура и Тобол. По данным Министерства транспорта и дорожного хозяйства республики Саха (Якутия), возникают сложности по поддержанию гаран-

тированных глубин на реках Яна и Индигирка из-за старения и нехватки технического флота. [7]. Практически все боковые и малые реки Сибири и Дальнего Востока находятся в естественном состоянии. Изменения их гидрологического режима определяются объективными факторами, которые зависят от географического расположения реки, климатических условий района их протекания, источников питания. Путевые условия эксплуатации на боковых и малых реках являются сложными. По результатам научных исследований, габариты судового хода на боковых и малых реках в меженный период имеют глубину 1,25 м и менее, ширину 29 м и менее на свободных участках рек, а также 14 м и менее в каналах. Радиус закругления судоходного водного пути составляет 150 м и менее. Большинство боковых и малых рек не имеют гарантированных габаритов судового хода. Малые реки имеют большое количество перекатов и множество участков с односторонним движением из-за узости судового хода [1-6]. Колебания уровней воды на этих реках в течение навигации различны и изменяются в широком диапазоне: от 0,5 м и ниже в верховьях рек и на отдельных участках (в первую очередь, перекатах) до 3-4 м в нижнем течении. В период весеннего половодья на некоторых малых реках уровни воды поднимаются до 5-6 м, а в ряде случаев – до 15 м в зависимости от водности года и конкретной реки. Водный режим рек отличается высоким весенним половодьем продолжительностью 1,5-2,0 месяца и относительно быстрым спадом глубин в меженный период [1-6]. Скоростной режим определяется классом малой реки, географическим расположением, характером питания. Скорости течения в период весеннего половодья, когда уровни воды поднимаются по сравнению с меженным периодом, значительно возрастают. На порогах, перекатах, шиверах они могут достигать 15-18 км/час [1-6].

Рассматривая основные особенности, сопутствующие эксплуатации флота на боковых и малых реках, на базе анализа эксплуатационно-экономической ситуации в бассейнах Сибири и Дальнего Востока, можно выделить ряд факторов, отражающих основные составляющие перевозок внутренним водным транспортом, связанные с судоходными условиями на малых реках:

- естественное состояние малых рек;
- ограниченные габариты судового хода;
- резкие колебания уровней воды;
- ярко выраженные весенний (полноводный) и меженный периоды навигации;
- взаимодействие корпуса судна и речного потока;
- трудности проведения путевых работ, связанные с отсутствием специализированных технических средств для дноуглубления на малых реках;
- малое количество знаков судоходной обстановки или их полное отсутствие;
- высокие скорости течения, его нестационарность;
- необходимость включения в транспортные схемы боковых и малых рек, ранее не используемых для судоходства, так как они оказываются единственными транспортными связями для перевозки грузов и пассажиров ко вновь возникающим населенным пунктам [1-6].

Анализ эксплуатационных особенностей малых и боковых рек Сибири и Дальнего Востока позволил сформулировать перечень требований, предъявляемых к судну, которое в перспективе может эксплуатироваться на пассажирских линиях:

- количество посадочных мест на судне должно быть сопоставимо с пассажироместимостью междугородного автобуса (40-45 чел.);
- судно должно позволять принимать на борт количество пассажиров, существенно превышающее количество посадочных мест без существенного ухудшения эксплуатационных качеств и характеристик безопасности;
- судно должно позволять принимать на борт дополнительный груз в виде багажа пассажиров массой до 50-70 кг на одну персону без существенного ухудшения эксплуатационных качеств и характеристик безопасности;

- судно должно иметь высокую остойчивость, перемещение пассажиров и скопление их на одном борту не должно оказывать существенного влияния на его ходовые и маневренные качества;
- габаритные размеры и маневренные характеристики должны позволять судну свободно проходить в узостях, расходиться со встречными судами в самых неблагоприятных местах судового хода;
- судно должно иметь ограниченную осадку для возможности эксплуатации за пределами судового хода;
- энергетическая установка судна должна быть экономичной и допускать применение энергосберегающих и природоохранных технологий для снижения экологической нагрузки на окружающую среду, при этом отрицательное влияние судна на окружающую среду должно быть при эксплуатации минимизировано;
- в конструкции судна должны быть применены современные технические решения и материалы, в то же время, судно должно быть оптимизировано с точки зрения строительной стоимости;
- спуск судна на воду и его подъем должны осуществляться без использования судоподъемных сооружений (автомобильный кран), а базирование в зимнее время должно быть на открытой площадке для снижения эксплуатационных расходов;
- судно должно иметь такие принципы движения, чтобы к его эксплуатации мог быть допущен плавсостав, имеющий стандартные навыки управления без переучивания и без существенного повышения квалификации;
- сложность устройства судна должна допускать навигационное обслуживание в береговых производственных участках эксплуатирующих организаций Сибири и Дальнего Востока, а его зимний ремонт мог бы выполняться на их судоремонтной базе;
- судно не должно требовать создания сложной причальной инфраструктуры и иметь возможность посадки пассажиров с необорудованного берега и высадки пассажиров на необорудованный берег.

Существенной проблемой внедрения судов данного типа на внутренних водных путях Сибири и Дальнего Востока является плохое состояние в настоящее время судостроительной промышленности в рассматриваемых регионах, а в ряде мест полное ее отсутствие. Данная проблема может быть решена путем применения модульного подхода к строительству судов по технологии серийной сборки отдельных блок-модулей на судостроительном предприятии, перевозки их грузовым транспортом в пределах разрешенных габаритов и быстрой сборки на месте назначения. При этом блок-модули поставляются в высокой степени заводской готовности, имеют полное техническое насыщение и отделку. Достройка судов может проводиться вне судостроительного предприятия, на площадке, оснащенной крановым оборудованием [7]. Модульный подход обеспечивает возможность удаленного строительства судов с последующей доставкой в любую точку страны, в том числе, на акватории, ограниченные несудоходными участками. В качестве примера успешной реализации модульного принципа проектирования и строительства кораблей необходимо отметить имеющийся опыт поставки ОАО «КАМПО» судов такого типа в рамках трехлетнего государственного контракта на поставку 12 катеров поисково-спасательного обеспечения ВМФ России в настоящее время [7].

Решение

Анализируя перечисленные требования, определено, что в наибольшей степени им удовлетворяют малоразмерные мелкосидящие скоростные катамараны (рис. 1). Имеющийся опыт эксплуатации судов этого типа подтверждает их высокую эффективность. Разработанный скоростной катамаран представляет собой судно модульной конструкции, имеющее повышенные экономические, эксплуатационные и экологические характеристики. Модулями являются корпуса, секции моста, блоки надстройки и рубки. Все модули имеют железнодо-

рожный габарит. Модульная конструкция позволяет создавать суда различного назначения на базе единых конструктивно-технологических решений.

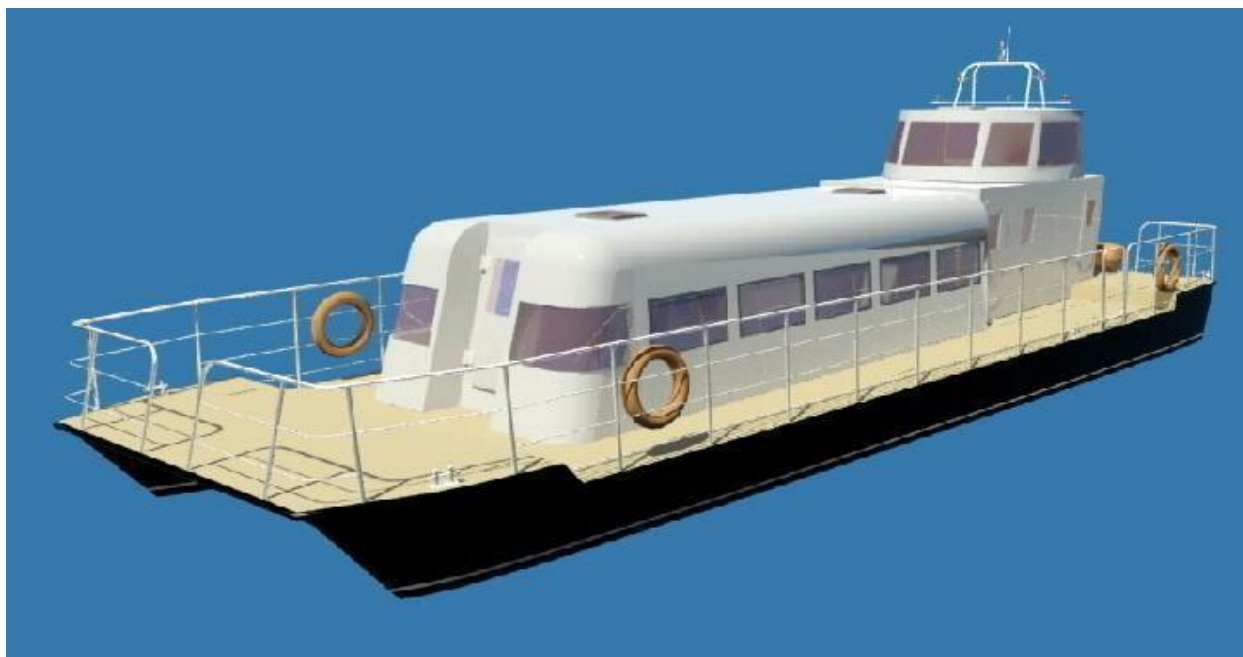


Рис. 1. Скоростной катамаран

Судно предназначено для эксплуатации на реках разрядов «Р» и «Л» боковых и малых рек Сибири и Дальнего Востока. Судно может эксплуатироваться на внутренних водных путях разряда «Р», имеющих высоту волны 1%-ной обеспеченности не более 1,2 м. Судно не имеет ледовых подкреплений. Судно должно строиться на класс Российского Речного Регистра «+P1,2». Скоростной катамаран для рек Сибири и Дальнего Востока представляет собой однопалубное двухкорпусное судно с кормовым расположением машинного отделения, пассажирским салоном, расположенным в носовой и средней части судна, и полуутопленной ходовой рубкой в кормовой части надстройки. Пассажирский салон имеет два основных выхода в кормовой части и один дополнительный на носовую открытую площадку. Вокруг надстройки имеется круговой проход, позволяющий проходить из носа в корму и с борта на борт, минуя салон.

Круговой проход огорожен по периметру леерным ограждением. Посадка и высадка пассажиров производится через пролеты в средней части судна. В районе пролетов в леерном ограждении имеются лацпорты. При необходимости возможна посадка и высадка пассажиров через носовую площадку, где в леерном ограждении, также, имеется лацпорт. В кормовой части надстройки расположен энергетический модуль, пост управления судном, туалеты. Носовая часть надстройки, в которой расположен пассажирский салон, имеет панорамное остекление боковых стенок и крыши. Пост управления закрыт ходовой рубкой, которая частично утоплена в надстройку. Ходовая рубка имеет круговой обзор. Доступ в пост управления осуществляется с главной палубы через отдельный проход.

В кормовой части корпусов катамарана расположены машинные отделения и рулевые устройства. В пассажирском салоне расположены пассажирские кресла, разделенные проходом. При необходимости на палубе под тентом может размещаться багаж пассажиров или мелкие партии груза (рис. 2).

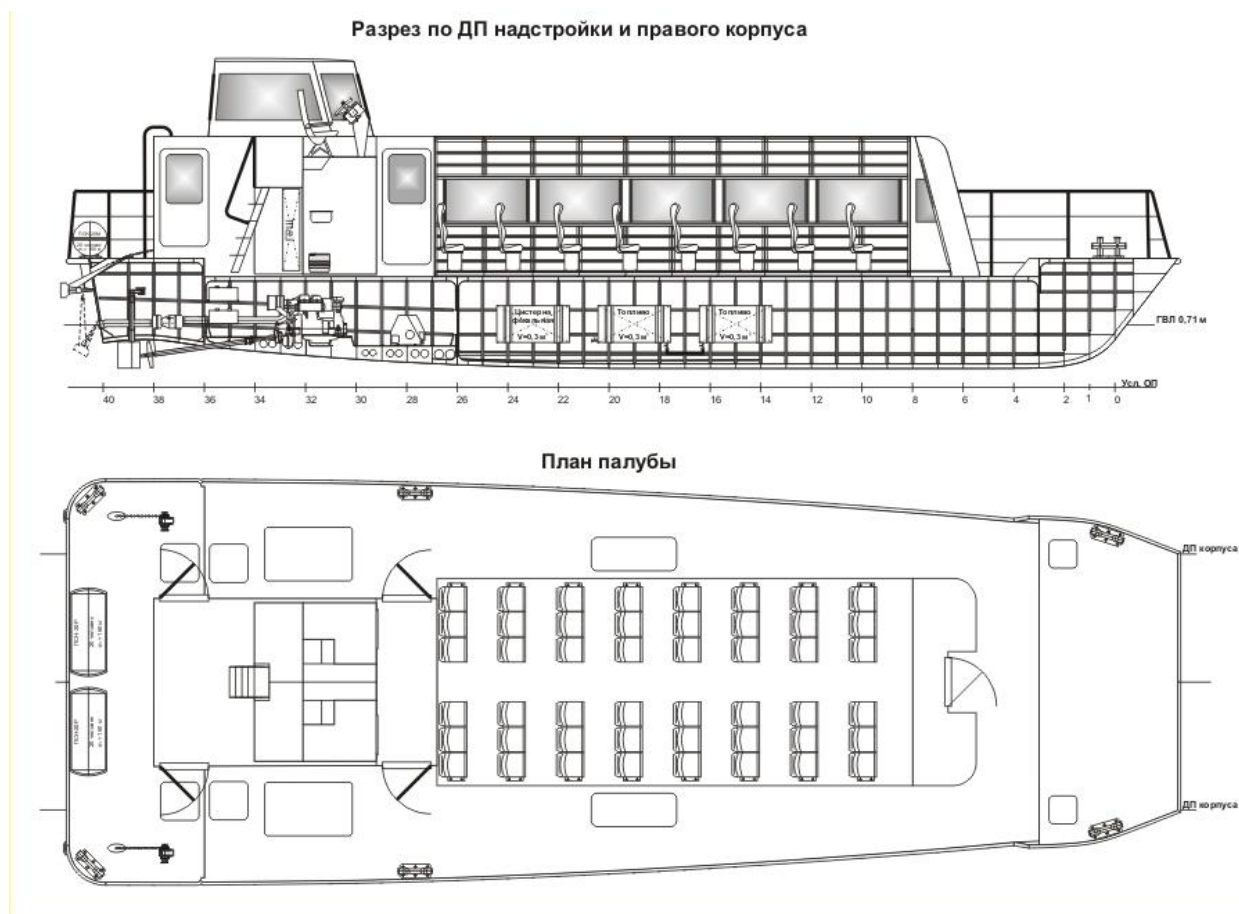


Рис. 2. Общее расположение пассажирской модификации скоростного катамарана

В результате анализа условий эксплуатации определены следующие характеристики судна, близкие к оптимальным:

- длина габаритная 17,60 м;
- длина расчетная 16,60 м;
- ширина габаритная 6,50 м;
- ширина расчетная 6,20 м;
- ширина корпуса 2,00 м;
- клиренс вертикальный 0,74 м;
- высота борта 1,40 м;
- борт надводный 0,94 м;
- осадка 0,47 м;
- водоизмещение 15,80 т;
- автономность по запасам топлива: 24 часа;
- автономность по запасам питьевой воды: 24 часа;
- дальность действия судна – 600 км.

Судно имеет высокие скоростные и маневренные характеристики, что позволяет существенно повысить эксплуатационную скорость при плавании в условиях стесненного водного пути, а ограниченная осадка дает возможность упростить плавание и маневрирование на малых глубинах. Скоростной катамаран по своей конструкции, благодаря небольшим размерам, малой массе и высокой маневренности могут производить посадку и высадку пассажиров, а также погрузку и выгрузку в любом необходимом месте, как на причальные сооружения упрощенной конструкции, так и на необорудованный берег через носовой лацпорт

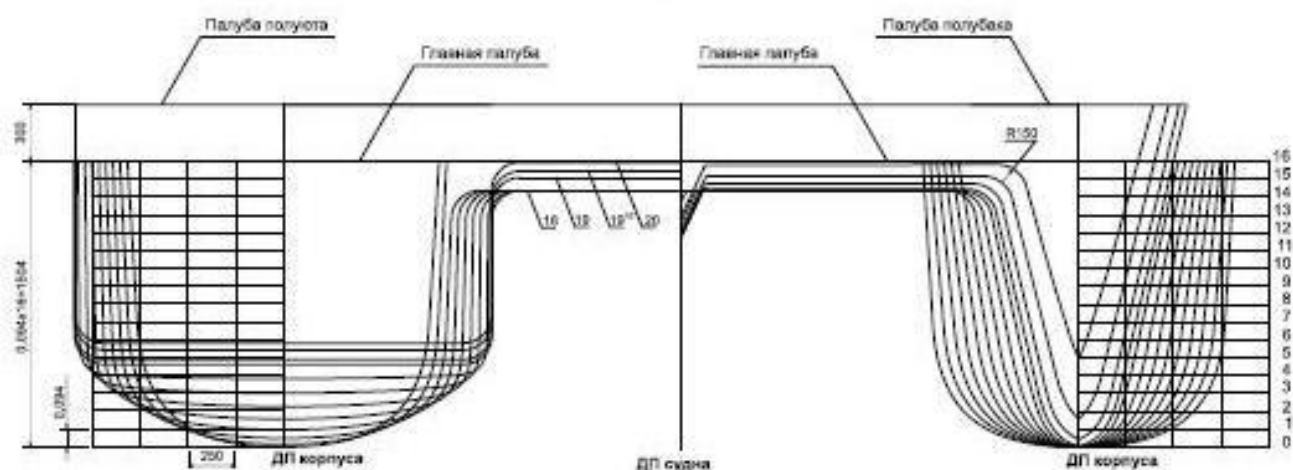


Рис. 3. Обводы скоростного катамарана

Корпуса судна имеют обводы, разработанные специально для скоростных мелкосидящих катамаранов, предназначенных для эксплуатации в условиях ограниченных габаритов судового хода, характеризующиеся острыми углами ватерлиний в носовой оконечности, смещением полноты обводов в корму от миделя судна и подъемом кормы (рис. 3). Разработанное судно имеет в расчетном режиме относительную скорость $Fr_L = 0,65-0,75$. Известно, что с точки зрения опасности размыва берегов, наибольшую опасность представляют именно отходящие от судна волны, имеющие вектор, направленный в сторону берега. Исследования, выполненные при оптимизации проектов скоростных катамаранов и посвященные оценке ближнего волнового поля, показывают, что при движении судов данного типа, имеющих аналогичные обводы и движущихся в переходном режиме в диапазоне $Fr_L = 0,5-0,9$, они формируют систему волн, состоящую из двух пар отходящих волн от носа и кормы каждого корпуса по каждому борту под углом, чуть больше угла носового заострения корпуса.

Соответственно, вектор их движения направлен под большим углом к ДП судна, и волна имеет малую скорость распространения. В систему волн в этом режиме входят, также, ориентированные перпендикулярно ДП судна невысокие стоячие волны. Использование результатов расчетов по выполненным исследованиям, а также модельных испытаний моделей серии СК-1 в опытовом бассейне СПбГМТУ позволяют приблизительно оценить высоту отходящих волн размером не более 0,5 м при отрыве от корпуса судна на глубокой воде. При дальнейшем движении волны происходит снижение ее высоты за счет взаимодействия частиц неидеальной жидкости. Эти параметры волнообразования примерно соответствуют параметрам волнообразования СПК проекта 340 «Ракета» при движении в расчетном режиме. Что касается волнообразования на мелководье, то исследования, проведенные при создании катамаранов внутреннего плавания, показывают, что система локальных максимумов волнообразования зависит от соотношения осадки корпусов и глубины фарватера, относительной скорости судна и ряда других параметров. Для полноценного решения этого вопроса необходимо проведение модельных испытаний с моделированием мелководья и пересчет полученных результатов на натурное судно.

В настоящее время в современном мировом судостроении наметилась тенденция сочетания в конструкции скоростного судна стального корпуса из высокопрочных сталей с верхними строениями из композитов. Примером такого сочетания может служить конструкции скоростных судов компании «DanishYachts», сочетающие стальной корпус и развитые надстройки из углепластика. Известно, что масса корпусных конструкций катамарана определяется, как массой его корпусов, так и массой его моста, которая зависит от характеристик продольной и поперечной прочности, а также прочности на скручивание. Боковые и малые реки Сибири и Дальнего Востока характеризуются слабым волнением, что позволяет суще-

ственно уменьшить моменты сопротивления и, соответственно, толщины корпусов и моста. Исключение надстройки из обеспечения продольной и поперечной общей прочности позволяет существенно снизить ее массу.

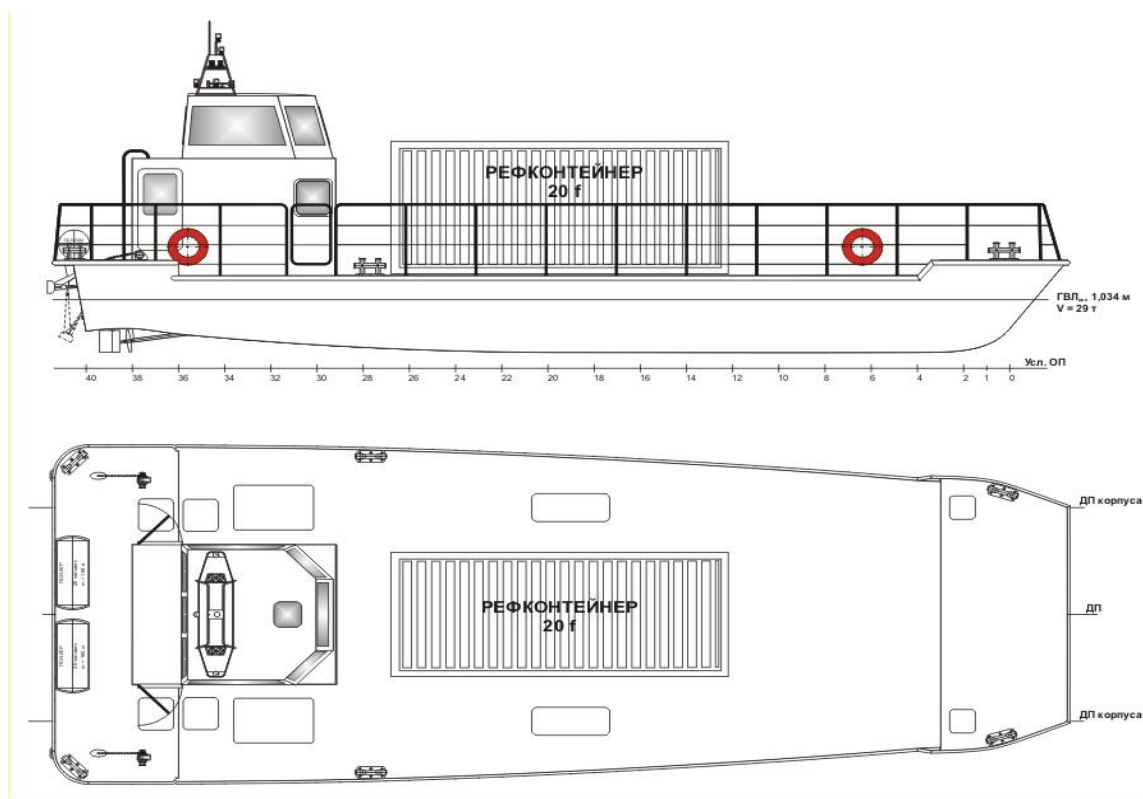


Рис. 4. Общее расположение рефрижераторной модификации скоростного катамарана

Поэтому в конструкции скоростного катамарана реализовано сочетание судостроительных сталей в конструкции корпуса и части конструкций моста с различными металлическими и неметаллическими композитами в конструкции надстройки и элементов моста судна. Судно имеет стальной корпус и надстройку из различных металлических и неметаллических композитов многослойной оболочковой конструкции. Оболочковые конструкции являются одним из наиболее перспективных современных видов конструкций, осваиваемых мировым малотоннажным судостроением. Конструкции этого типа позволяют добиваться высокой весовой эффективности в сочетании с необходимой прочностью и долговечностью [8, 9].

На базе единых конструктивных решений разработан типоразмерный ряд судов, который включает следующие основные проектные модификации: пассажирское судно с модулем для пассажирских перевозок на местных линиях большой протяженности (40-48 чел.); грузовое и грузопассажирское судно со следующими функциональными модулями:

- съемный рефрижераторный или изотермический модуль (рис. 4);
- съемный грузовой модуль;
- съемный модуль пассажирских помещений для перевозки до 12 чел;
- съемный модуль пассажирских помещений повышенной комфортности для длительного пребывания, в т.ч. охоты и рыбной ловли;
- грузовая площадка с ограждением (рис. 5).

Оснащение грузовых и грузо-пассажирских модификаций судна штатным краноманипулятором с гидравлическим приводом существенно улучшает его потребительские качества.

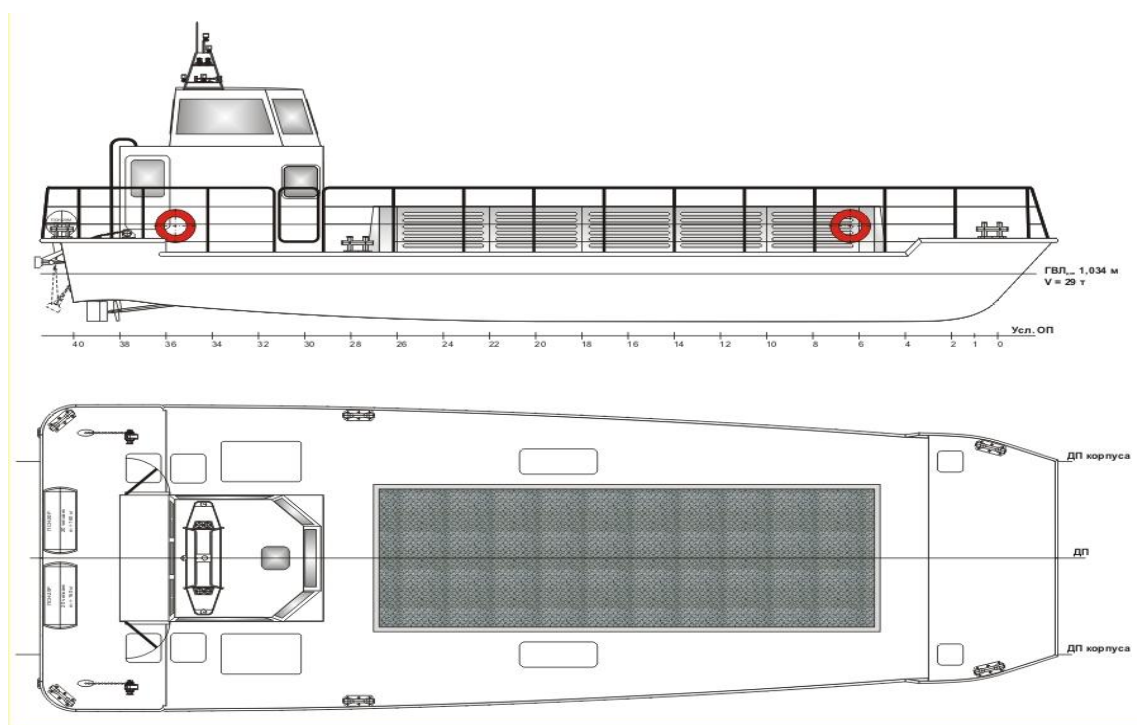


Рис. 5. Общее расположение модификации «судно-площадка» скоростного катамарана

Энергетическая установка судна представляет собой два главных двигателя, установленные по одному в каждом корпусе, а также дизель-генератор, расположенный в модуле надстройки. Каждый двигатель приводит во вращение один винт, расположенный в ДП корпуса. Судно предполагается оборудовать системами автоматизации в объеме, позволяющем управлять им из рулевой рубки силами одного судоводителя в дневное время, без постоянной вахты в машинном отделении. Предусмотрено совмещение профессий. Численность экипажа устанавливается в размере 2 человек: капитан-механик и матрос-моторист. Работа судна предполагается в светлое время суток. Максимальная продолжительность непрерывной вахты на судах данного типа допускается продолжительностью 10,5 часов. В энергетическом модуле надстройки предусмотрено место для отдыха экипажа. Объективная оценка экономической эффективности эксплуатации судна при различных схемах экономической деятельности компаний – операторов перевозок опирается на использование определенных критериев, в качестве которых, например, для скоростных судов, используются их интегрированные расходные характеристики, включающие удельный расход топлива главных двигателей, их мощность, полную массу судна, скорость, а также характеристики их полезной нагрузки.

Известно, что наибольшую долю в совокупной структуре прямых расходов на эксплуатацию скоростного пассажирского судна составляют расходы на топливо. Поэтому при анализе эффективности эксплуатации любых типов скоростных пассажирских судов целесообразно выполнить сравнительный анализ их интегрированных расходных характеристик, куда входят характеристики массы, мощности, скорости и расходные характеристики главных двигателей: коэффициента утилизации по дедвейту, энерговооруженности, расхода топлива на перемещение 1 т дедвейта и 1 пассажира на 1 км пути. Подробнее данный круг вопросов рассмотрен, например в [9, 10].

Расход топлива на перевозку одного пассажира в зависимости от мощности и пассажироемкости скоростного катамарана с элементами из композитов

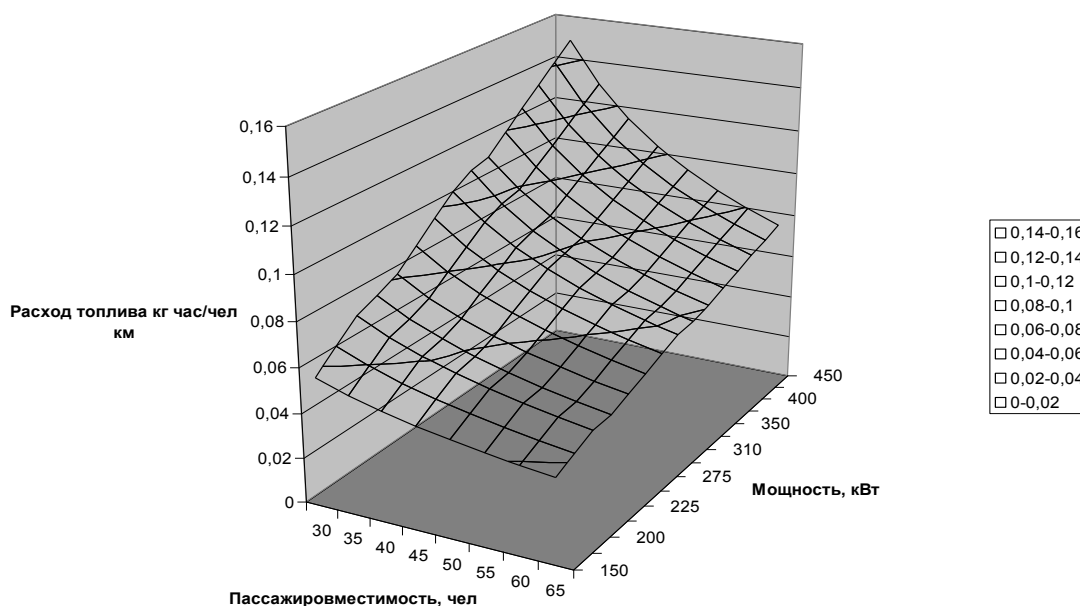


Рис. 6. Расход топлива на перевозку одного пассажира в зависимости от мощности и пассажироемкости скоростного катамарана с элементами из композитов

Известно, что рост скоростей движения и повышение уровня комфорта любого вида пассажирского транспорта, в том числе, скоростного внутреннего водного транспорта, существенно повышает его конкурентоспособность за счет повышения его привлекательности в глазах потенциальных пассажиров. При этом увеличение пассажироемкости и/или полезной нагрузки скоростных пассажирских судов при фиксированной скорости, как правило, сопровождается снижением себестоимости перевозок и повышением их рентабельности. Что касается роста скорости движения судна, то он связан с дополнительными затратами на топливо. Эти дополнительные затраты при фиксированной пассажироемкости, как правило, влекут за собой снижение рентабельности перевозок с одновременным повышением транспортных издержек. Одновременное повышение пассажироемкости пропорциональное росту затрат на топливо при повышении скорости зачастую невозможно по техническим причинам из-за опережающего роста мощности судовой энергетической установки и связанных с ней расходных характеристик.

В частности, был выполнен расчет, позволяющий оценить изменение расходных характеристик скоростного катамарана для рек Сибири и Дальнего Востока в зависимости от мощности главных двигателей и пассажироемкости. Рассматривалось изменение пассажироемкости судна от 50 до 60 чел. с одновременным изменением мощности главных двигателей от 2х103 кВт до 2х155 кВт. Результаты расчета представлены на рис. 6.

Выводы

Выполненные расчеты оптимизации с одновременным решением транспортной задачи позволили установить, что на тихой глубокой воде оптимальное пассажирское двухкорпусное судно для рек Сибири и Дальнего Востока должно иметь максимальную скорость 35-36 км/час при мощности, развиваемой главными двигателями, равной 2х196 кВт, что составляет примерно 95 % от номинальной мощности судовой энергетической установки. Эксплуатационная скорость при этом составит 32 км/час. Запас мощности, учитывающий эксплуатационные условия (движение на мелководье, волнении), позволит эксплуатировать двигатели при номинальной частоте вращения без перегрузки. Данное сочетание скорости и мощности судна позволяет обеспечить его экономически эффективную эксплуатацию в условиях экс-

плутации на малых и боковых реках Сибири и Дальнего Востока. Для грузовых и грузопассажирских модификаций экономически оправдано снижение максимальной скорости до 26 км/час с одновременным понижением мощности главных двигателей до 2х110 кВт. Данное сочетание скорости и мощности судна также позволяет обеспечить его экономически эффективную эксплуатацию в условиях эксплуатации на малых и боковых реках Сибири и Дальнего Востока.

В конструкции скоростного катамарана применены ранее апробированные при создании других судов технические решения, позволяющие повысить его весовую эффективность и обеспечить заявленные технические характеристики.

Статья подготовлена по результатам научно-исследовательской работы, выполненной Московским государственным техническим университетом им. Н.Э. Баумана по государственному контракту № 13411.1007499.09.082 от 18.11.2013 г. с Министерством Промышленности и Торговли России по технологическому направлению № 3 «Концептуальные проекты морской техники» («Новый облик») Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники» на 2009-2016 годы, мероприятие № 3.3.2 «Скоростные пассажирские суда». Работа выполнена под руководством автора статьи.

Библиографический список

1. Зачёсов, А.В. Малые реки – как управляемая система [Текст] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2010. №2. С. 99-103.
2. Зачёсов, А.В. Особенности организации судоходства на малых реках Сибири [Текст] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2007. №2. С. 24-29.
3. Зачёсов, А.В. Состояние транспортного использования малых рек Сибири в период формирования рыночных отношений [Текст] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2010. №1. С. 10-14.
4. Зачёсов, А.В. Транспортная система «Малые реки» [Текст] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2008. №1. С. 5-8.
5. Сеницын, М.Г. Методические подходы к оценке транспортных возможностей боковых и малых рек [Текст] / М.Г. Сеницын, А.В. Зачёсов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. №2. С. 25-28.
6. Сеницын, М.Г. Определение вероятностных сроков работы судов на притоках магистральных рек [Текст] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. №1. С. 15-18.
7. Мобильные модульные комплексы и плавсредства – решение проблемы освоения труднодоступных регионов [Текст] // Корабел.Ру. 2014. №3. С. 20-21.
8. Францев, М.Э. Малоразмерные скоростные катамараны модульной конструкции с элементами из композиционных материалов – новые транспортные средства для возрождения судоходства на малых реках России [Текст] // Сборник трудов научного конгресса 12-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки-2010». – Нижний Новгород, 2010. Т.2. С. 220-223.
9. Францев, М.Э. Проектное обоснование повышения полезной нагрузки амфибийного судна на воздушной подушке за счет применения в его конструкции композиционных материалов [Текст] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2015. № 1. С. 197-202.
10. Францев, М.Э. Проектное обоснование обеспечения характеристик экономичности и конкурентоспособности скоростного пассажирского судна [Текст] // Сборник трудов конференции «Девятые Прохоровские чтения», Нижний Новгород, 2013. С. 94-98.