



УДК 629.12.001

С.В. Давыдова, к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

С.Р. Крафт, магистр 1 курс ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО АМФИБИЙНОГО СУДНА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Ключевые слова: амфибийные суда, воздушная подушка, элементы, характеристики, экономическая эффективность, оптимальный вариант

В статье приведена постановка задачи оптимизации основных элементов и характеристик многофункционального судна на воздушной подушке. Определена целевая функция и подробно описан перечень варьируемых параметров.

Для решения ряда транспортных задач в труднодоступных районах нашей страны хорошо зарекомендовали себя амфибийные суда на воздушной подушке (АСВП). Эти суда способны работать над водой, льдом, сушей, что открывает возможность их эффективного применения в качестве универсальных транспортных средств различного назначения (грузовое, пассажирское, грузопассажирское, спасательное и т.д.). АСВП имеют существенные преимущества по сравнению с другими видами транспорта, важнейшие из которых :способность работать как на воде, так и над ледовыми и заснеженными поверхностями в районах обширных приливно-отливных зон и в условиях мелководья; отсутствие потребности в дорогостоящих портовых сооружениях и дноуглубительных работах.

Одним из признаков классификации АСВП является конструкция гибкого ограждения (ГО). ГО, как таковое, определяет амфибийность, проходимость, мореходность, остойчивость характеристики ходкости, качки, управляемости, энерговооруженности и надежности АСВП. Из большого многообразия известных конструктивных и аэродинамических схем ГО на АСВП применяются три вида: с гибким ресивером двухъярусное со съёмными элементами, секционированное по схеме «крест» (классический тип); камерные, двухъярусные, со съёмными навесными элементами; камерные, со скегами баллонетного типа с носовыми и кормовыми ГО.

У первых двух видов ГО ВП представляет собой тканевую оболочку, стремящуюся под воздействием внутреннего избыточного давления принять и сохранить устойчивую равновесную форму. В момент контакта с препятствием в деформирующемся участке ГО возникают перемещения, приводящие к податливости ГО, что существенно сказывается при ходе АСВП на волнении и по пересеченной местности. Взаимодействие с водной поверхностью у данных видов ГО играет немаловажную роль не только в курсовой устойчивости АСВП, но и снижении скорости хода на волнении, а также риска потери устойчивости движения вследствие затягивания и подлома ГО.

У третьего вида ГО внутри баллона сохраняется масса предварительно закаченного в баллон воздуха. Баллоны на АСВП формируются как скег и, одновременно с функцией собственно поддержания повышенного давления в воздушной подушке (ВП), обеспечивают плавучесть и остойчивость судна. При движении на ВП по воде и по пересеченной местности возникает необходимость поиска приемлемого компромисса между устойчивостью формы баллона и его податливостью. Такое состояние достигается путем изменения внутреннего давления в баллоне.

В последние годы особую популярность среди всего многообразия АСВП получили АСВП именно с ГО – баллонетного типа.

Причинами, обеспечивающими интенсивное развитие АСВП с ГО баллонетного типа, являются:

- высокие ходовые и мореходные качества, амфибийные качества и характеристики устойчивости движения и управляемости;
- повышенная безопасность на ходовых режимах;
- высокий ресурс элементов ГО;
- ремонтпригодность ГО, простота в обслуживании.

Благодаря описанным выше преимуществам АСВП с ГО баллонетного типа, в дальнейшем будем рассматривать именно данный тип.

К элементам и характеристикам амфибийных судов относится длина, ширина, высота борта, осадка, водоизмещение, мощность, длина и ширина воздушной подушки, высота гибкого ограждения, а также внимание уделяется давлению в воздушной подушке.

Элементы АСВП в значительно большей степени, чем водоизмещающие суда, зависят от характеристик волнения. В связи с этим при определении размеров судна в первом приближении необходимо исходить из особенностей будущих условий эксплуатации [1].

При определенных соотношениях скорости хода судна и параметров волнения могут появляться резонансные условия качки. Имея это ввиду, необходимо при выборе размеров судна сопоставлять ожидаемые характеристики качки судна и характеристики частоты встречи с волнами судна, идущего с заданной скоростью хода.

При оценке резонансных условий прежде всего анализируются характеристики волнения в данном бассейне, представленные в виде повторяемости различной силы волнения на разных направлениях по отношению к предполагаемому пути судна. Собственный период качки судна связан с характеристиками остойчивости исходя из которых ориентировочно устанавливают необходимые значения длины и ширины воздушной подушки. Далее выполняется уточнение полученных результатов исходя из известных проектных соотношений. Одним из таких соотношений может быть зависимость ширины воздушной подушки от высоты гибкого ограждения.

Высота ГО задается в зависимости от высоты волн, на которую рассчитывается эксплуатация судна. С погрешностями можно считать, что высота гибкого ограждения должна вдвое превосходить расчетную высоту волн, при которой судно будет гарантировано двигаться с заданной эксплуатационной скоростью хода.

Также необходимо учитывать, что все основные характеристики СВП зависят от давления в воздушной подушке. При уменьшении давления вес корпуса возрастает, а при постоянном полном весе судна уменьшается коэффициент утилизации полного веса по грузоподъемности η_{gp} . Вес корпуса можно уменьшить при увеличении давления, но при этом, увеличивается необходимая мощность, следовательно, и суммарный вес энергетической установки [1].

Эффективность судна определяется выбором наиболее оптимального варианта его характеристик, исходя из задач, стоящих перед судном и условий работы.

Прибыль является наиболее важным показателем успешности работы судна. В качестве критерия при решении оптимизационной задачи внешнего проектирования судна может быть принят максимум экономической эффективности. Экономическая эффективность в работе определяется как отношение прибыли от годовой эксплуатации судов к приведённым затратам на флот.

$$E = \frac{P}{C} \rightarrow \max$$

где P – прибыль от годовой эксплуатации судов; C – приведенные затраты.

Кроме того, необходимо учитывать, чтобы выбранные элементы АСВП удовлетворяли условиям эксплуатации и критериям оптимизации. Таким образом исходными данными при решении задачи оптимизации характеристик АСВП являются: назначение судна, район эксплуатации, ограничения по габаритам судна, экономические показатели (бюджет), особые требования к конструкции и оборудованию, связанные с эксплуатацией.

Варьируемыми параметрами могут быть: компоновка общего расположения, компоновка аэрогидродинамической схемы, количество пассажиров, грузоподъемность, тип гибкого ограждения, материалы для изготовления судна.

Так, к примеру, при выборе материала корпуса стоит учитывать, что уменьшение толщин связей и обшивки уменьшает вес судна и его строительную стоимость, но при этом уменьшается общая и местная прочность судна.

В качестве целевой функции на ранних стадиях проектирования может приниматься полная масса судна, т.к. она является универсальной характеристикой СВП, определяющей и скоростные, и транспортные, и энергетические, и стоимостные показатели судна.

Поэтому, сравнивая возможные варианты судна при постоянных значениях дальности хода r , эксплуатационной скорости V , величин полезной нагрузки $D_{гр}$ и ее погрузочных объемов, стоимостные критерии с приемлемой степенью приближения можно свести к сопоставлению вариантов судна по величине его полной массы. Наилучший вариант судна обладает наименьшей полной массой $D_{п} \rightarrow \min$. [2]

Далее рассмотрим некоторые варьируемые параметры более подробно.

Аэрогидродинамическая компоновка

Определяющими критериями в назначении аэрогидродинамической компоновки являются удовлетворяющие требованиям характеристики управляемости, мореходности при ходе на воздушной подушке и проходимости на воздушной подушке. Кроме того, следует применять такую схему, которая позволяет снизить ходовые и стояночные нагрузки на гибкий материал баллонетов и обеспечить повышенный ресурс ГО.

Изначально АСВП с ГО баллонетного типа выполнялись по одноярусной двухбаллонетной схеме (СВП-500, начальные серии МАРС-700, текущая серия АСВП типа МАРС выполняются по двухъярусной двухбаллонетной схеме). Однако, применение трехбаллонетной схемы показало, что при прочих равных условиях последний тип позволяет удовлетворить вышеизложенным требованиям.

Повышенные по сравнению с другими схемами характеристики управляемости обеспечиваются за счет продольного секционирования зоны ВП центральным баллонетом и возможности создания перепада давлений в секциях ВП. Это позволяет создать при ходе на ВП дополнительную боковую силу за счет возникающего вследствие этого перепада угла крена, а также дополнительный разворачивающий момент (момент рыскания) за счет большего сопротивления на накрённом баллонете. Именно поэтому АСВП трехбаллонетной схемы оказываются регулярными победителями «Нижегородских регат СВП» (2010-2012 гг.) в гонках на маневренность.

Кроме того, для выбора наиболее оптимального решения необходимо рассмотреть различные варианты компоновки аэрогидродинамического комплекса, исходя из которых,

можно выбрать наиболее подходящий вариант. Так, выбирается требуемый диаметр ДРК, рассчитанный на получение максимальных тяговых характеристик во всем диапазоне скоростей движения СВП, минимизации их взаимодействия с корпусом судна с одной стороны и минимизации габаритов и веса корпуса судна с другой.

Гибкое ограждение

Важнейшей и ответственной системой амфибийных судов на воздушной подушке судов является гибкое ограждение воздушной подушки, участвующее в задаче формирования области повышенного давления под корпусом судна.

При выборе схемы и материалов ГО АСВП руководствуются следующими основными требованиями:

- ГО должно обеспечивать заявленные в проекте характеристики ходкости и мореходности;
- ГО должно обеспечивать заявленные характеристики амфибийности;
- ГО должно обеспечивать безопасность эксплуатации амфибийного судна на водной поверхности и суше, обеспечивая создание восстанавливающих моментов при дифферентовании или креновании судна;
- должен обеспечиваться заявленный в проекте ресурс ГО, при этом определяющими для ресурса являются нагрузки на ГО и материал, из которого изготовлено ГО;
- должна обеспечиваться ремонтпригодность ГО, элементы ГО должны быть легкозаменяемыми, в том числе в походных условиях.

Начальными данными по выбору схемы и компоновки ГО являются площадь ВП и давление в ВП, которые в совокупности определяют водоизмещение разрабатываемого АСВП. Длина и ширина ВП, а также их соотношение, рассматриваемые в связи с формой ГО, схемой крепления ГО к корпусу, схемой секционирования ВП, характеризуют ходовые качества судна, его мореходность и остойчивость. Конструкция баллонетного ГО в целом характеризуется соотношением длины, ширины и высоты баллонетов, параметрами кормового и носового ГО, сечением бортового ГО, обводами баллонета, а также устройством на части баллонета, контактирующей с водной поверхностью системы продольных и поперечных реданов.

конструктивно-силовая схема корпуса

Перечень вопросов, которые необходимо решить при разработке конструктивно – силовой схемы (КСС) концептуального проекта амфибийного судна на воздушной подушке (АСВП) баллонетного типа включает в себя:

- материал КСС;
- профили силового набора;
- принципы формирования КСС;

Для того чтобы максимально снизить вес и рыночную стоимость судна, обеспечить относительную простоту производства и сборки деталей, а также достаточную прочность и коррозионную стойкость, необходимо использовать материал из алюминий-магниевого сплава.

Профили набора, как холостого, так и рамного, выполняются гнутыми из листового проката. В ряде конструкций применены стандартные прессованные профили.

Корпусные конструкции выполнены по смешанной системе набора – тонкая обшивка подкрепляется часто расположенными ребрами жесткости. Способ соединения конструкций – клепка и сварка.

Таким образом, для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- установить и проанализировать статистические зависимости составляющих нагрузок масс судна, имеющих различные уровни стоимости, от соответствующих

модулей; определить их прогнозируемые средние и индивидуальные значения при ожидаемом значении модулей на заданном уровне значимости;

- выполнить классификацию архитектурно-конструктивных типов АСВП, разработать методику определения главных размерений с учетом грузместимости судна и особенностей архитектурно-конструктивного типа;

- разработать математическую модель оптимизации составляющих нагрузки масс АСВП;

- разработать методику и алгоритм оптимизации составляющих нагрузки масс АСВП;

- произвести анализ методик расчета строительной стоимости судов;

- разработать методику определения мощности энергетической установки АСВП, с созданием математической модели расчета сопротивления движению судна;

Решение поставленных задач предполагается выполнять с использованием теоретических основ, рассмотренных в работах В.В. Ашика, А.В. Бронникова, В.М. Пашина, Е.П. Роннова,; нормативных документов, связанных с проектированием судов внутреннего плавания; нормативных документов, связанных с особенностями эксплуатации амфибийных судов.

Список литературы:

[1] Злобин Г.П., Симонов Ю.А., Суда на воздушной подушке / Л., «Судостроение», 1971. - 212с.

[2] Демешко Г.Ф., Проектирование судов. Амфибийные СВП: Учебник в 2х кн. Кн.2 / СПб:Судостроение, 1992. – 329 с.

STATEMENT OF THE PROBLEM OF OPTIMIZATION OF THE MAIN ELEMENTS AND CHARACTERISTICS OF A MULTIFUNCTIONAL AMPHIBIOUS SHIP WITH AN AIR CUSHION

S.V. Davydova, S.R. Kraft

Keywords: amphibious vessels, air cushion, elements, characteristics, economic efficiency, optimal variant

The article describes the problem of optimization of the main elements and characteristics of a multifunctional air-cushion vessel. The objective function is determined and the list of variable parameters is described in detail.