



Рис. 1. Носовая оконечность корпуса, предложенная компанией Rolls-Royce



Рис. 2. Судно с формой носовой оконечности фирмы Groot Ship Desing

Японская фирма MHY разработала концептуальный проект балкера-зерновоза дедвейтом 95 000 т для американской компании. Особенностью проекта является система «воздушной смазки» днищевой поверхности. Корпус судна имеет особые формы обводов носовой оконечности и подводной его части.

Большие надежды возлагаются на поиски в области нанотехнологии поверхностей [5], которые позволят создать «нанодерн» и, за счет этого, уменьшить сопротивление трения.

#### Список литературы:

- [2] Пустошный А.В. ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX – Новая реальность от IMO. – СПб. // Судостроение, 2012, № 1.
- [2] Мурамович В.Г., Анисимов П.Ф., Петухов В.В., Лямин П.Л., Туев С.В. Повышение экономических и экологических характеристик судовых ДВС. – СПб. // Судостроение, 2012, №1.
- [2] Головное сухогрузное судно пр. RSD 44 заложено на «Окской судовой верфи». По материалам Морского инженерного бюро. – СПб. // Судостроение, 2010, № 2.
- [2] Егоров Г.В. Масштабная реализация преимуществ толкаемых составов на практике. – СПб. // Судостроение, 2011, № 2.
- [2] Половинкин В.Н. Наука наноразмерного состояния. Нанотехнологии: монография / В.Н. Половинкин. СПб МТУ. – СПб., 2010. – 325 с.

**А.М. Крыжанов**

*НГТУ им. Р.Е. Алексеева*

**А.В. Ермолаев, П.С. Кальясов**

*ООО СК «АЭРОХОД»*

## ОБЩЕПРОЕКТНЫЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ АМФИБИЙНЫХ СУДОВ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ ДЛЯ ВСЕСЕЗОННЫХ ГРУЗОПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Современные методы виртуального проектирования с использованием специализированных программных комплексов позволяют производить выбор оптимальных параметров проектируемого изделия еще на ранней стадии его создания. Методы виртуального проектирования сокращают количество экспериментальных НИОКР, позволяют расширить поисковое поле проектных исследований, и, в конечном счете, обеспечивают надлежащее качество проектной разработки при сокращении финансовых и временных затрат на ее реализацию.

Эффективное применение методов виртуального проектирования предполагает, во-первых, предварительную разработку методик вычислительных экспериментов [1],

а во вторых – верификацию результатов вычислительных экспериментов с результатами физических экспериментов и натурных испытаний созданных образцов.

При формировании концептуального проекта амфибийного судна на воздушной подушке (АСВП) с гибким ограждением (ГО) баллонетного типа для Крайнего Севера и Каспийского моря использованы разработанные в [2–3] методики вычислительных экспериментов в части аэрогидродинамики и конструктивно-силовой схемы АСВП с ГО баллонетного типа. Эти методики прошли верификацию по результатам натурных испытаний серийных образцов АСВП ряда проектов и их модификаций.

Основными, принципиальными моментами в АГДК АСВП являются:

– двухъярусная трехбаллонетная схема ГО, включающая в себя бортовые и центральный двухъярусные баллонеты с оптимизируемыми из условий ходкости и нагрузок на баллонеты диаметрами;

– четырехсекционная схема воздушной подушки (ВП) с обеспечением функционирования ВП каждой секции своим нагнетателем (нагнетателями) регулируемого расхода воздуха;

– трапециевидный в плане корпус платформы с сужением к корме и оптимизируемыми главными размерениями воздушной подушки;

– оптимизируемые движительно-рулевые комплексы (ДРК), каждый из которых включает в себя маршевый винт, кольцевой насадок, систему рулей направления, спрямляющий аппарат. ДРК располагаются в зоне, где гарантируется минимизация потерь от их паразитной интерференции с кабиной платформы или другими элементами АГДК платформы.

*Гибкое ограждение.*

Трехбаллонетная схема обеспечивает следующие преимущества.

а) 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 накренном баллонете.

б) Позволяет обеспечить более высокую в сравнении с двухбаллонетной схемой стабильность давления в ВП при ходе на волне (в особенности на косых курсах) и пересеченной местности.

Двухъярусное ГО имеет два важнейших преимущества перед одноярусным ограждением:

а) при равных клиренсах (расстояниях от нижней кромки ГО до платформы АСВП) сопротивление при движении на режиме ВП по водной поверхности оказывается меньшим у двухъярусного ограждения. Это связано с потребным и большим для одноярусного ограждения радиусом баллонета, кормовая часть баллонета глиссирует по поверхности воды и одновременно находится в зоне действия воздушной подушки.

б) обеспечение непотопляемости путем секционирования баллонета при использовании одноярусного ГО ведет к резкому увеличению нагрузок на ограждение при движении на пересеченной местности и ходе на волне. При использовании двухъярусного ограждения обеспечение непотопляемости достигается за счет секционирования баллонетов верхнего яруса, что снижает нагрузки на материал нижнего яруса и перегрузки при ходе на волне и пересеченной местности.

Поперечное секционирование ВП с обеспечением функционирования каждой секции своим нагнетателем обусловлено резко выраженной зависимостью аэрогидродинамических качеств АСВП с ГО баллонетного типа от ходовых углов дифферента. Уменьшение ходовых углов дифферента до некоторой величины (конкретное значение зависит от высоты и длины волны, скорости ветра, курсового угла относительно ветра и волны) ведет к повышению скорости движения АСВП при неизменном режиме работы силовой установки, или, что то же самое, к росту аэрогидро-

намического качества АСВП. Однако дальнейшее уменьшение угла дифферента ведет к выходу на неустойчивый режим, сопровождающийся разгоном АСВП с дальнейшим динамическим контактом баллонетов с водой, так называемым «залипанием» и торможением судна. В случае несвоевременного вмешательства в управление «залипание» в связи с большими продольными и вертикальными перегрузками может привести к аварийной ситуации, да и в целом оно довольно плохо переносится пассажирами АСВП.

Вычислительные эксперименты, на моделях АСВП различных проектов для различных, в том числе и малых углах дифферента  $\psi \leq 0,5^\circ$ , позволили детально изучить процесс «залипания».

Управление углом дифферента АСВП с ГО баллонетного типа позволяет подобрать оптимальный режим движения АСВП и поднять его ходовые характеристики с учетом текущих ветроволновых возмущений, курсового угла, загрузки и центровки судна.

Наиболее эффективный путь управления дифферентом АСВП заключается в использовании активных сил для перебалансировки АСВП. Воздушная подушка секционирована как продольно (центральным баллонетом), так и поперечно (промежуточным ГО). Каждая секция обслуживается отдельным нагнетателем. Применяется система регулируемой подачи воздуха в секции ГО. Если двигатель силовой установки обеспечивает одновременное функционирование маршевого винта и двух бортовых нагнетателей (кормового и носового), то в качестве такой системы может использоваться, например, гидравлическая система привода нагнетателей с регулированием распределения мощности между нагнетателями. Достоинством четырехсекционной схемы воздушной подушки с обеспечением функционирования ВП каждой секции своим нагнетателем (нагнетателями) с регулируемым расходом воздуха является возможность перебалансировки АСВП по дифференту в относительно широких диапазонах углов, в том числе при действии ветроволновых возмущений.

С целью снижения гидродинамического сопротивления при ходе на крейсерском режиме ВП предлагается выполнить корпус платформы трапецевидным с малым сужением к корме. Это означает, что бортовые баллонеты будут заклинены, т.е. развернуты относительно диаметральной плоскости (ДП): в носовой части дальше от ДП, в кормовой – ближе к ДП. Заклинка скег ведет, с гидродинамической точки зрения, к уменьшению смоченной поверхности, обусловленной боковым подпором воды.

Методами вычислительного эксперимента получена зависимость аэрогидродинамического качества от угла заклинки бортовых баллонетов нижнего яруса АСВП при различных числах Фруда.

#### *Движительно-рулевой комплекс (ДРК).*

При работе маршевых винтов на кольцевом насадке реализуется дополнительная тяга. Для обеспечения нужных расходов через диск винта происходит забор воздуха сбоку. В районе передней кромки профиля кольцевого насадка образуется зона пониженного давления, обусловленная искривлением линий тока воздуха при подходе к диску винта.

Результаты вычислительных экспериментов показывают, что при равной потребляемой мощности тяга открытого винта выше тяги винта в кольцевом насадке, но ниже тяги всего комплекса «винт + кольцевой насадок». При больших скоростях (по ступь винта  $\lambda > 1$ ) открытый винт и винт в кольцевом насадке работают одинаково, а падение тяги комплекса «винт + кольцевой насадок» обусловлено ростом сопротивления на насадке.

Таким образом, исходя из реализации наибольшей тяги при заданной фиксированной мощности двигателя, для концептуального проекта АСВП с ГО баллонетного типа следует использовать винт в кольцевом насадке, при этом диаметры винта и на-

садка должны выбираться, с учетом всех конструктивным компоновочных соображений, максимально возможными по величине.

Для надежного решения транспортной задачи на крупных АСВП применяются два двигатель-двигательных комплекса (двигатель – трансмиссия – ДРК), конструктивно независимых между собой.

Одностороннее вращение винтов существенно упрощает проектирование и реализацию трансмиссии АСВП. Однако, как показывают результаты математического моделирования, при одностороннем вращении винтов наблюдается превышение нагрузки на винт одного борта на 50% по сравнению с винтом другого борта, КПД винтов при этом одинаково.

Эффект обусловлен сложной картиной взаимодействия струй как перед, так и за винтами. Часть струи за винтом левого борта «наматывается» на струю винта правого борта сверху и наоборот, часть струи за винтом правого борта «наматывается» на струю левого борта снизу. При этом эффект экрана и разряжения за транцем корпуса АСВП оказывает на струю правого винта тормозящий эффект, а струя левого винта разгоняется свободным потоком и струей правого винта. Струи от винтов отклоняются за судном в сторону вращения винтов.

Результаты проведенного исследования показывают, что для всего диапазона скоростей АСВП наиболее рациональным с аэродинамической точки зрения является параллельное расположение ДРК с разносторонним вращением винтов.

Известно, что при работе винта потери энергии связаны с ее затратами на закрутку струи. Установка спрямляющего аппарата (СА) позволяет поднять КПД вентилятора. Вместе с тем примеры использования СА на воздушных маршевых винтах встречаются крайне редко, а аэродинамические и конструктивные схемы применения таких устройств отсутствуют. В ходе вычислительных экспериментов, было рассмотрено несколько вариантов СА, проведена оценка их эффективности и разработана рациональная аэродинамическая схема СА для винта в кольцевой насадке.

ДРК каждого борта представляет собой толкающий воздушный винт в кольцевой насадке, приводимый во вращение от автономного двигателя через карданную передачу. Ось винта закреплена в центральной обойме, которая жестко связана с кольцевой насадкой коробчатым спрямляющим аппаратом. Рули направления в количестве трех штук на каждом ДРК устанавливаются за воздушным винтом на двух опорах – кронштейнах каждый, которые крепятся к насадке.

В процессе проектирования проведено исследование 14 вариантов конструктивно-силовой схемы (КСС) ДРК. Для каждого варианта проведены как расчеты на прочность, так и частотный анализ. Главный результат применения методов виртуального проектирования в этой части работы – отказ от силовых пилонов ДРК с перенесением силовой несущей функции на спрямляющий аппарат. Это позволило не только поднять эффективную тягу ДРК, но и обеспечить более благоприятные условия работы маршевого винта с точки зрения его ресурса. Системными вычислительными экспериментами выбраны оптимальные по технологическим и весовым требованиям элементы КСС ДРК.

Спрямляющий аппарат (СА) представляет собой систему профилированных пилонов, расположенных по кругу, и имеющих ненулевой угол установки к оси вращения. В центре находится центральный узел маршевого винта.

Центральный узел является связующим звеном, передающим тягу от маршевого винта на СА; он представляет собой цилиндр, на котором закреплены поддерживающие его пилоны СА. Внутри цилиндра располагаются ось винта и система подшипников.

Геометрия закрепления пилонов СА на цилиндре подбиралась исходя из расчетных случаев, а также для возможного облегчения монтажа.

**Список литературы:**

- [1] Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: Физматлит, 2002. – 320 с.
- [2] Кальясов П.С., Любимов А.К., Шабаров В.В., Якимов А.К. Развитие и применение методов вычислительного эксперимента для исследования несущего комплекса амфибийных судов на воздушной подушке // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2009. №5. С. 142–151.
- [3] Кальясов П.С., Якимов А.К., Туманин А.В., Шабаров В.В., Блохин В.Н., Прохоров В.М.. Применение методов вычислительного эксперимента для определения аэродинамических характеристик экраноплана на крейсерском режиме движения // Сборник докладов IX международной научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2012». Часть I. Сентябрь 7–8. 2012. С. 216–222.
- [4] Кальясов П.С., Туманин А.В., Якимов А.К., Шабаров В.В. Математическое моделирование аэродинамики несущего комплекса амфибийных судов на воздушной подушке (СВП) баллонетного типа // Морской вестник. 2011 №4(40). С. 103–108.

*М.В. Кудин, А.В. Туманин*  
*ООО СК «АЭРОХОД»*

**ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК,  
ДЕЙСТВУЮЩИХ НА АМФИБИЙНЫЕ СУДА  
НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ С ГИБКИМ ОГРАЖДЕНИЕМ  
БАЛЛОНЕТНОГО ТИПА**

Особенностью амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой (АСВП с АР) является наличие двух основных ходовых режимов: первого основного режима движения на статической воздушной подушке и второго режима – движения на динамической воздушной подушке при отсутствии механического контакта с подстилающей поверхностью. Оба режима являются крейсерскими и экономичными.

Первый режим используется для движения по боковым рекам и сложным в навигационном отношении участкам магистральных рек, болотам, тундре. Движение АСВП на режиме воздушной подушки осуществляется со скоростями 50–90 км/час. На втором основном режиме АСВП с АР обеспечивает движение со скоростями 130–200 км/час. Этот режим используется для переходов на относительно большие расстояния по руслам магистральных рек.

Основным агрегатом АСВП с АР является крыло, на него устанавливается корпус, на который навешивается хвостовое оперение; в общей структуре массы аппарата масса крыла составляет ~50%. Поэтому обоснованное снижение массы крыла, включающее в себя как уточнение внешних нагрузок, так и весовую оптимизацию крыла, является актуальной проектной задачей для перспективных амфибийных скоростных судов.

Ниже приводятся результаты расчетов АСВП с АР водоизмещением 10 т, площадь ВП равна 82 м<sup>2</sup>, номинальное давление в ВП – 1220 Па, ВП – двухсекционная, состоящая из левой и правой секций; давление в каждой из секций поддерживается своим секционным вентилятором с использованием математической модели, которая здесь не рассматривается ввиду ограничений на объем тезисов.

Рассматривается движение АСВП с АР на водной поверхности при различных углах генерального направления распространения волн  $\chi$  с фиксированным рысканием