

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 м², 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 χ с фиксированным рысканием

φ . При этом выделяются следующие направления движения АСВП с АР относительно генерального направления распространения волн:

- попутный курс, направление распространения волн совпадает с направлением движения АСВП с АР ($\chi = 0^\circ$);
- попутно-лаговый курс, при котором аппарат движется под углом $\chi = 45^\circ$ к генеральному направлению распространения волн;
- лаговый курс, направление распространения волн перпендикулярно к направлению движения судна ($\chi = 90^\circ$);
- встречно-лаговый курс, при котором аппарат движется под углом в $\chi = 135^\circ$ к направлению распространения волн;
- встречный курс, АСВП с АР движется навстречу набегающим на него волнам ($\chi = 180^\circ$).

Расчеты проведены для движения АСВП с АР на пространственном нерегулярном волнении с высотой волн 3%-ой обеспеченности $h_{e,3\%} = 0,5\text{ м}$, $h_{e,3\%} = 0,75\text{ м}$, а также на регулярной волне с $h_{в} = 0,75\text{ м}$.

Результаты расчетов движения АСВП с АР в условиях волнения представляют собой изменения во времени положения центра масс судна, углов дифферента рысканья, крена, скоростей и ускорений, а также давлений в ВП. Для оценки нагрузок на корпус судна по результатам моделирования проведена выборка максимальных по модулю вертикальных перегрузок в характерных точках судна: центре масс, носовой и кормовой оконечностях, на левой и правой шайбах.

Обработанные таким образом результаты расчетов в виде пиковых вертикальных перегрузок приведены на рисунке 1 при различных курсах судна по отношению к генеральному направлению распространения волн.

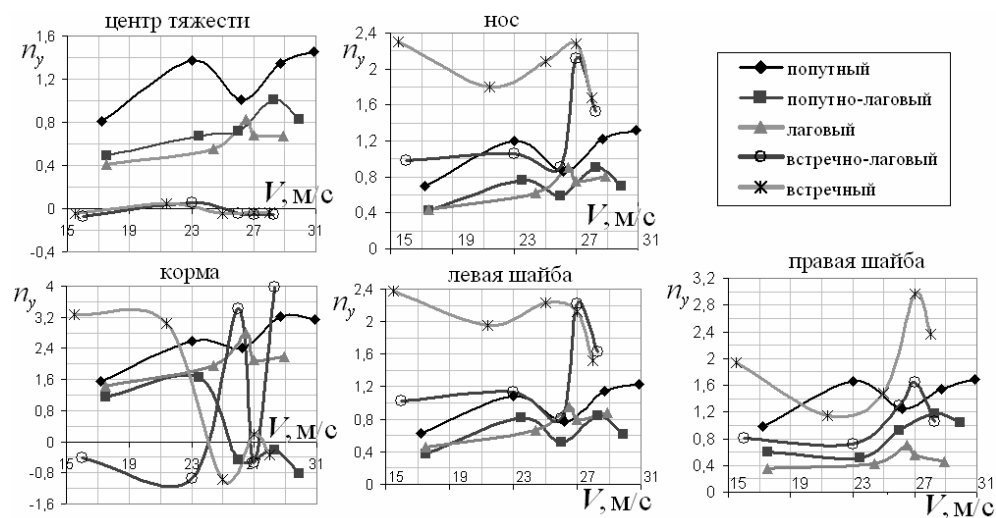


Рис. 1. Перегрузки в характерных точках в зависимости от скорости движения и курса по отношению к волнению $h_{e,3\%} = 0,75\text{ м}$

Исходя из анализа данных, представленных на рисунке 1, прослеживается следующая зависимость между скоростью судна и вертикальной перегрузкой в различных точках корпуса: с ростом скорости значения перегрузок при различных курсах по отношению волны имеют характерные участки роста и снижения. Эти участки связаны с различным влиянием ВП и аэродинамической разгрузки судна в зависимости

от скорости движения. На относительно малых скоростях (до 23–24 м/с) перегрузки преимущественно постепенно нарастают до некоторого уровня, основная роль в разгрузке судна принадлежит статической ВП.

Далее происходит небольшое падение значений перегрузок, обусловленное стабильностью давления в ВП и нарастающей аэродинамической разгрузкой АСВП с АР. Затем следует участок резкого роста величин перегрузок, связанное с падением давления в ВП; аэродинамическая разгрузка еще недостаточна для полного поддержания судна. При дальнейшем увеличении скорости судна величина аэродинамических разгружающих сил растет, и, как следствие, перегрузки снижаются.

Из расчётов динамики движения АСВП с АР на трехмерной нерегулярной волне получены исходные данные для исследования прочности корпуса. Рассматривается четыре расчётных случая:

1. Движение на ВП со скоростью 27 м/с; встречный курс; высота волны $h_{в3\%} = 0,75$ м; средняя длина волны $\lambda_{в} = 8$ м.
 2. Движение на ВП со скоростью 23 м/с; встречно-лаговый курс; высота волны $h_{в3\%} = 0,75$ м; средняя длина волны $\lambda_{в} = 13$ м.
 3. Отказ двигателя по левому борту с переходом со второго режима на первый в условиях тихой воды.
 4. Посадка лагом на регулярную волну $h_{в} = 0,75$ м, $\lambda_{в} = 17$ м без ВП.
- Основные данные для расчётов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расчетные случаи по результатам моделирования динамики движения АСВП с АР

Наименование параметра	Номер расчетного случая			
	1	2	3	4
Перегрузка в ц.т.	3,48	2,2	1	1
Перегрузка на левой шайбе	4,65	6,65	1	1
Аэродинамическая сила поддержания, кН	27	14,4	0	93,3
Сила от давления в ВП ЛБ, кН	134	17,7	0	0
Сила от давления в ВП ПБ, кН	140	26	0	0
Сила на левой шайбе-баллонете, кН	2,3	0,065	0,263	1,3
Сила на левом баллонете, кН	20,3	0,83	2,954	0
Сила на центральном баллонете, кН	14,9	1,9	3,610	0
Сила на правом баллонете, кН	8,6	0	2,954	0
Сила на правой шайбе-баллонете, кН	0	0	0,263	1,3

Для сравнения был проведён расчёт нагрузок, регламентированных Правилами Российского Речного Регистра [1].

Корпус при движении в условиях взволнованной поверхности, а также при движении на суше, имеющей неровности, нагружается внешними ударными нагрузками в плоскую днищевую часть.

Если равнодействующие нагрузок проходят через главные центральные оси инерции, то корпус испытывает продольный и поперечный изгибы. В противном случае, наблюдается также скручивание.

Динамическое воздействие внешних сил учитывается введением понятия «перегрузка». Уравновешивание произвольно действующих внешних сил осуществляется инерционными силами. Изгибающие моменты, перерезывающие силы и крутящие

моменты по длине и ширине судна определяются интегрированием внешних сил совместно с силами инерции, с учетом граничных условий. Этот метод широко применяется при расчетах быстроходных судов с динамическими принципами поддержания.

Внешние силы не являются уравновешивающими. Это присуще всем быстроходным судам. Как рекомендовано в [2] при расчёте корпусов судов с динамическими принципами поддержания можно пренебречь искривлением их продольной оси, рассматривать судно в динамике как твёрдое тело, уравновешенное силами инерции.

Расчетные перегрузки, значение внешних сил и схема их приложения определяются в соответствии с «Правилами» [1].

Рассмотрены следующие расчетные случаи:

5. Продольный изгиб. Прогиб. Удар волны в носовую и кормовую части судна.
6. Продольный изгиб. Перегиб. Удар в район центра тяжести судна.
7. Поперечный изгиб. Удар в район левой и правой шайбы.
8. Кручение. Удар в носовую часть левого баллонета и в правую шайбу-баллонет.

В таблице 2 приведены графики перегрузок и расчётные эпюры изгибающих моментов.

Перегрузка при плавании на волнении согласно [1] составляет 1,26.

Для расчётов была построена конечно-элементная модель крыла в программном комплексе ANSYS. Модель представлена на рисунке 2.

Результаты расчетов и их сравнение с результатами, полученными с использованием Правил [1], представлены в таблице 3.

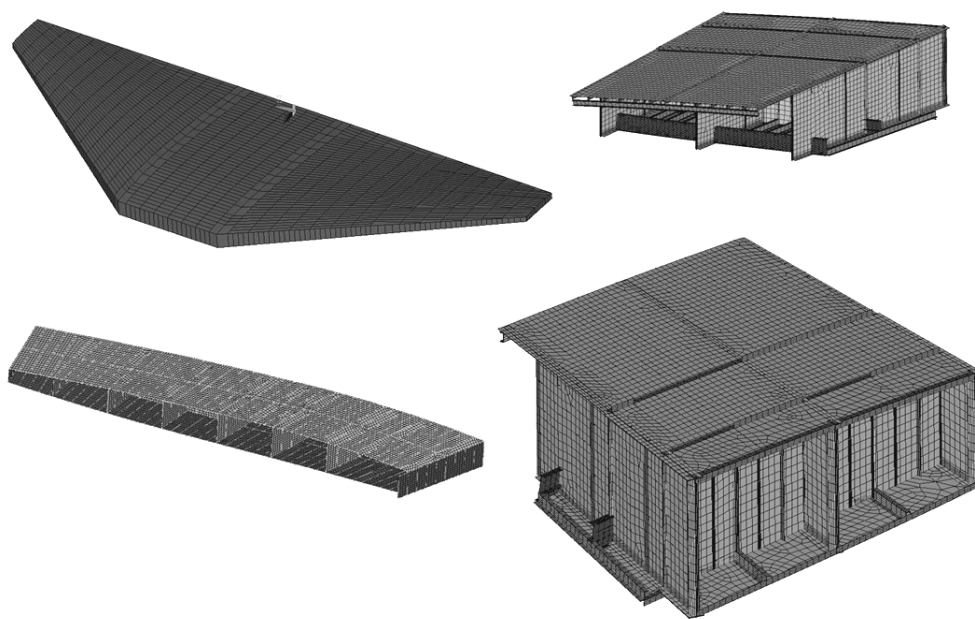


Рис. 2. Конечно-элементная модель крыла

Перегрузки, полученные прямым моделированием динамики движения на волнении оказываются выше перегрузок, определенных по Правилам РРР [1]. Однако напряжения по «Правилам ...» получаются выше напряжений, определённых исходя из прямого моделирования динамики движения АСВП с АР на волнении. Это объясняется тем, что в Правилах учитываются только силы поддержания на баллонетах и шайбах, и не учитывается специфика АСВП с АР: влияние воздушной подушки и распределенные аэродинамические силы на крыле, которые обеспечивают эффект разгрузки.

Сильные допущения PPP дают существенный запас по прочности, но влекут за собой значительное для АСВП с АР увеличение массы корпуса.

Таблица 2

Распределение перегрузки и эпюры изгибающих моментов для расчетных случаев (5–8)

Расчётный случай	Распределение перегрузки	Эпюра изгибающего момента M , кН·м
5		
6		
7		
8		

Таблица 3

Сравнение расчетных случаев по Правилам РРР и расчетам динамики движения

Нагрузки	Район максимальных напряжений	Значение максимальных напряжений, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Коэффициент запаса, n
По РРР	В обшивке днища	135	141,1	1,05
	В ребрах днища	75	166,7	2,22
По расчётам динамики движения	В обшивке днища	64	141,1	2,24
	В ребрах днища	47	166,7	3,55

Список литературы:

- [1] Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания» Российского Речного Регистра Судоходства т. 2, изд. 2008 г.
 [2] Справочник по строительной механике корабля т. 1–3, под редакцией акад. Ю.А. Шиманского. Л. «Судпромгиз», 1958–1960 гг.
 [3] Войткунский Я.И., Фаддеев Ю.И., Федяевский К.К. Гидромеханика, Л.: Судостроение, 1982.

Е.А. Мотова, Н.Е. Никитина
 ФГБУН Институт проблем машиностроения РАН

**УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛА
 КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК ЭХО-МЕТОДОМ**

Рабочие компрессорные лопатки являются наиболее ответственными деталями газотурбинного двигателя (ГТД) типа MS5142 газоперекачивающего агрегата ГТК-25И. Они работают в весьма сложных условиях, подвергаясь воздействию повышенных температур (~300 °С), изгибных и растягивающих напряжений, в условиях повышенной влажности и запыленности. В результате такой эксплуатации материал лопаток испытывает как объемные, так и поверхностные структурные изменения, приводящие к снижению прочностных характеристик, что ограничивает их дальнейшую работоспособность.

В настоящее время традиционные способы увеличения ресурса работы узлов и деталей машин, например, химико-термическая обработка, часто являются экономически невыгодными, так как требуют использования дорогостоящих и дефицитных элементов (хром, молибден, ванадий, титан, никель и др.) и высоких энергозатрат. Вследствие этого целесообразным является создание на рабочих поверхностях деталей упрочняющих и защитных покрытий с повышенными прочностными и антикоррозионными свойствами. Специалистами ООО НПЦ «Трибоника» разработаны и успешно применяются восстановительно-ремонтные технологии с применением ионно-плазменных покрытий [1] с целью продления срока службы деталей проточной части ГТД.

В настоящее время все большее применение в различных областях промышленности на различных стадиях изготовления, эксплуатации и ремонта находят акустические методы неразрушающего контроля (НК) и диагностики. Акустический метод исследования заключается, в основном, в измерении важнейших информативных характеристик – затухания и скорости распространения упругих волн в материале и