

С.В. Соловьев, Д.М. Варламов, Ю.Н. Казачек
ОАО КБ по проектированию судов «Вымпел»

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ КОРМОВОЙ ОКОНЕЧНОСТИ И ФУНДАМЕНТОВ МОРСКОГО БУКСИРА НА ДЕЙСТВИЕ НАГРУЗОК ОТ ВИНТО-РУЛЕВЫХ КОЛОНОК

В настоящее время в качестве элемента пропульсивного комплекса судов получили широкое распространение винто-рулевые колонки (ВРК). Применение их на таких судах, как грузовые суда типа «река-море», буксиры и др. показали улучшение управляемости и маневренности по сравнению с аналогичными судами, оснащенными другими типами двигателей. Расположение ВРК создает удобства монтажа двигателей и рулевого органа: колонки обеспечивают поворот винта в горизонтальной плоскости от 0° до 360° . Поворотные винтовые колонки в процессе работы позволяют изменить величину и направление упора гребного винта (ГВ) одновременно, что сказывается на улучшении мореходных качеств судна.

Статья посвящена оценке прочности фундаментов под ВРК и примыкающих к ним конструкций кормовой оконечности морского буксира длиной 52,3 м при действии нагрузок от ВРК. В качестве движителя на судне предусмотрена ВРК в кольцевой насадке с диаметром винта 2,2 м и частотой вращения 280 об/мин.

Для оценки прочности конструкций была создана конечно-элементная модель в пластинчато-стержневой идеализации с использованием вычислительного комплекса «ЛИРА» (рис. 1).

Особенностями конструктивного оформления фундамента под ВРК и прилегающих кормовых конструкций является отсутствие продольных переборок и близко расположенных к фундаментам ВРК поперечных переборок, а также малый размер поперечного сечения подкрепляющих фундамент бракет в районе борта, связанный с конфигурацией обводов корпуса судна в кормовой оконечности.

Днищевое перекрытие в кормовой оконечности перевязано с палубой по диаметральной плоскости (ДП) только раскосами и пиллерсами, установленными по ДП. Поэтому из условия формирования граничных условий для перечисленных выше рассматриваемых конструкций, в расчётную схему включены все рамные связи кормовой оконечности в районе от транца до ближайшей поперечной переборки.

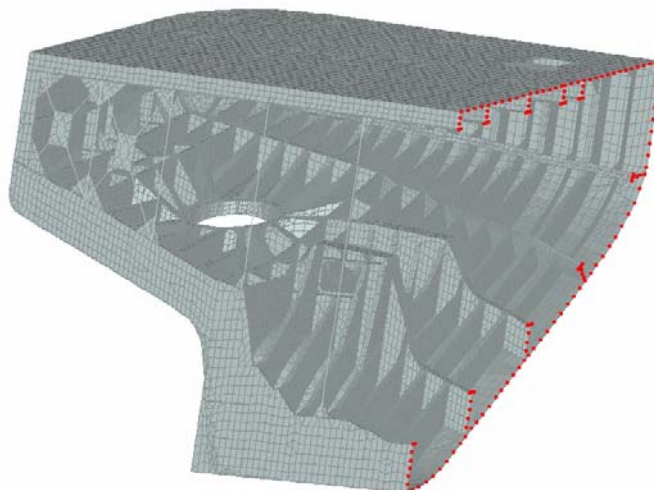


Рис. 1. Конечно-элементная модель фундамента под ВРК и прилегающих кормовых конструкций

Стержневыми конечными элементами описаны раскосы и пиллерсы, установленные в ДП. Остальные элементы рассматриваемых конструкций представлены в пластинчатой идеализации.

Основные теоретические линии обводов корпуса были импортированы из системы трехмерного проектирования TRIBON.

Рассматриваемая КЭ модель считается условно заделанной в плоскости шпангоута, где установлена ближайшая к транцу поперечная переборка.

Расчётные нагрузки на фундамент винто-рулевой колонки (ВРК) были приняты в соответствии с данными, предоставленными фирмой-изготовителем ВРК (рис. 2).

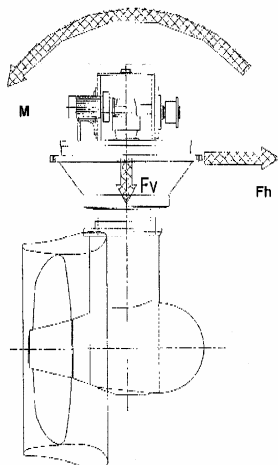


Рис. 2. Схема усилий, передаваемых с ВРК на корпус судна

В выполненном расчёте принято, что усилия от ВРК приложены в точке пересечения осевой линии ВРК и опорной плоскости фундамента (см. рис. 3). Передача рассматриваемых усилий из указанной точки на опорную плоскость фундамента ВРК моделируется с помощью жёстких стержней, соединяющих точку приложения нагрузок с узлами на фундаменте. Условно принято, что рассматриваемые стержни выполнены из стали.

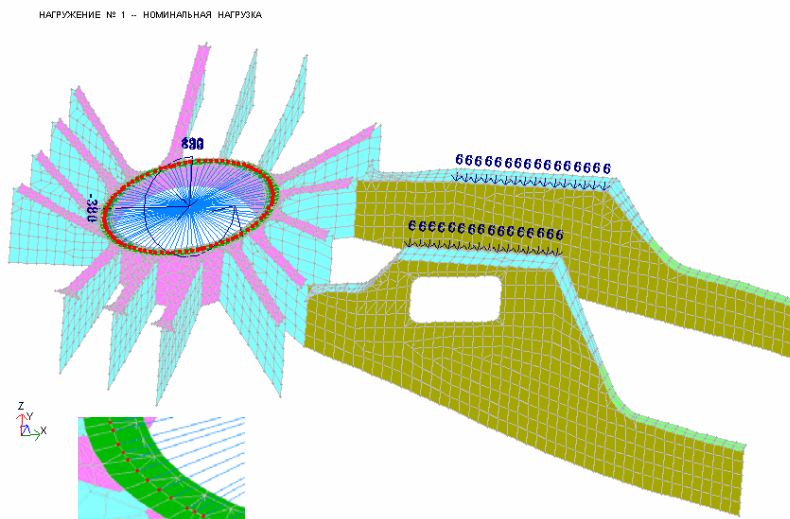


Рис. 3. Схема нагружения кормовой оконечности

Из условия деформации опорной поверхности фундамента ВРК совместно с корпусом ВРК, имеющим большую жёсткость, на узлы передачи нагрузки на опорную плоскость фундамента наложены следующие условия совместности деформации в общей системе координат корпуса: одинаковые перемещения по осям X и Y и одинаковые углы поворота φ_z , φ_x и φ_y .

Также учтена усугубляющая вертикальный прогиб кормовой оконечности нагрузка от гребных электродвигателей.

Расчёты выполнены при следующих режимах работы ВРК:

1) эксплуатационные случаи нагружения:

– номинальный режим работы (на открытой воде) – это максимальные усилия, возникающие при нормальных условиях эксплуатации и при движении на открытой воде.

– работа судна во льдах.

2) экстремальные (аварийные) нагружения – это усилия, возникающие при серьёзной аварии. В этом случае гребной винт и вся винто-рулевая колонка могут быть повреждены, и корпус судна может получить устойчивые деформации. При этом рекомендуется, чтобы подобные аварии не создавали угрозу безопасности судна.

Из анализа результатов расчета деформаций следует, что наибольшая деформация кормовой оконечности, как и следовало ожидать, получена для случая экстремальных нагрузок и составляет около 7 мм. Для рабочих нагрузок значения деформации в вертикальном направлении кормовой оконечности – около 3,3 мм.

Оценка прочности конструкций выполнена путём сравнения наибольших значений расчётных величин компонентов напряжений с допускаемыми значениями, определяемыми по формулам Российского Морского Регистра Судоходства, а также согласно энергетической теории прочности с помощью эквивалентных напряжений, которые для плосконапряжённого состояния определяются формуле (1):

$$\sigma_{\text{э}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (1)$$

где σ_x – нормальные напряжения в направлении «x» местной системы координат конечного элемента;

σ_y – нормальные напряжения в направлении «y» местной системы координат конечного элемента;

τ_{xy} – касательные напряжения в плоскости «x–y» местной системы координат конечного элемента.

Коэффициенты допускаемых напряжений приняты равными 0,6 предела текучести стали, из которой сделан корпус судна, для эксплуатационных случаев и равным 1 для случаев экстремальных нагрузок.

Максимальные нормальные и эквивалентные напряжения в конструкции наблюдались в зоне концентрации напряжений в районе вырезов под болты для крепления ВРК к опорной поверхности (рис. 4). Однако их значения не превысили допускаемые значения напряжения для всех случаев нагружения.

Максимальные касательные напряжения действуют в стенках бракет, раскрепляющих фундамент под ВРК.

Выполненные оценки показали, что прочность и устойчивость конструкций фундамента и кормового отсека при действии нагрузок от винто-рулевой колонки обеспечена.

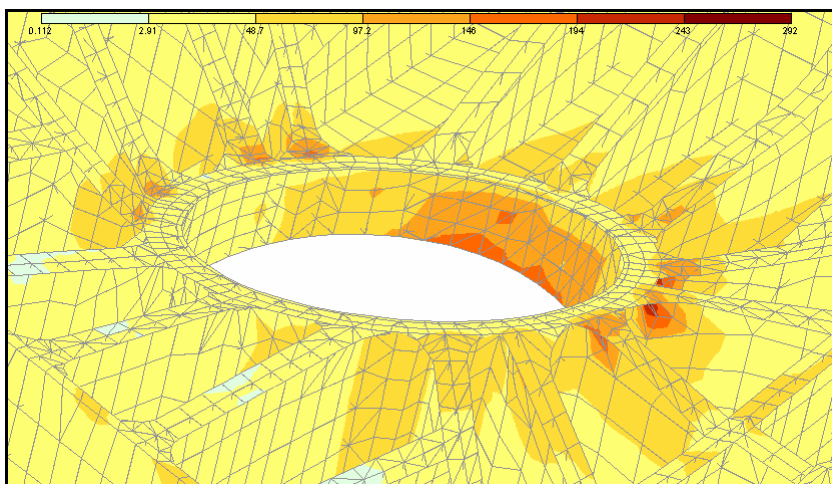


Рис. 4. Изополя эквивалентных напряжения в зоне фундамента под ВРК для случая экстремального нагружения, МПа

А.Г. Шабала
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

УЧЕТ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОТОКА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ В РАСЧЕТАХ АЭРОДИНАМИКИ И ПРОЧНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ВИНТОВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ СУДОВ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

В последнее время стремительно растет численность судов на воздушной подушке разных фирм производителей, конструкций, характеристик и т.д. Одной из наиболее актуальных проблем является обеспечение прочности и износостойкости воздушного винта или винтовентилятора, постоянно функционирующего в воздухе, насыщенном водяными брызгами или песком и пылью, и характеризующемся неустановившимися потоками, турбулизация которых обусловлена неровностями поверхности, над которыми движется судно. Перечисленные обстоятельства выдвигают на первый план требования прочности, защиты входящих кромок лопастей от брызговой и пылевой эрозии.

Доказательством актуальности данной проблемы является также серия поломок, произошедших с воздушными винтами судов на воздушной подушке. На рис. 1, 2 и 3 показаны поврежденные литые лопасти (сплав Ас7ч) воздушного винта диаметром 1,2 м.

Расчет на прочность проводился на специализированном предприятии-изготовителе воздушных винтов. Расчет показал, что винт должен выдерживать 2900 об/мин с рекомендуемым коэффициентом запаса прочности. В то же время, разрушения лопастей воздушных винтов происходили на оборотах 2200–2500 об/мин. Сертифицированная система контроля качества на предприятии-изготовителе воздушных винтов и тот факт, что поломки происходили в разное время на различных судах на воздушной подушке исключает возможность разрушения лопастей вследствие технологических дефектов. Выдвинутое предположение о значительном влиянии неоднородности воздушного потока на прочность воздушных винтов позволяет определить причину вышеуказанных поломок при проведении соответствующих расчетов и экспериментов.