

УДК 629.5.015.4

В.В. Аврамов

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ
ПРЕДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСОВ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ
С РЕКОМЕНДАЦИЯМИ МАКО 2006 г.**

Выполнен сравнительный анализ традиционных методов оценки предельной прочности корпусов транспортных судов с рекомендациями МАКО 2006 г. Изложены рекомендации, позволяющие качественно улучшить методику расчета предельного пластического изгибающего момента.

Ключевые слова: *общая продольная прочность, предельная пластическая прочность корпусов судов, метод прогрессирующего разрушения.*

Виконано порівняльний аналіз традиційних методів оцінки граничної міцності корпусів транспортних суден з рекомендаціями МАКО 2006р. Викладено рекомендації, що дозволяють якісно поліпшити методику розрахунку граничного пластичного згинального моменту.

Ключові слова: *загальна поздовжня міцність, гранична пластична міцність корпусів суден, метод прогресуючого руйнування.*

A comparative analysis of the traditional methods for the ultimate hull strength transport vessels with recommendations IACS 2006 are present. The recommendations, allowing qualitatively improve the methodology of calculation of the limit of the plastic bending moment are given.

Keywords: *general longitudinal strength, the ultimate hull strength, a progressive analyses method.*

Постановка проблемы. Проблема оценки общей предельной прочности корпусов судов не потеряла своей актуальности по настоящее время и, в равной степени, касается, как речных грузовых судов (несамоходные и самоходные баржи), так и морских (балкеры, танкеры). Нелинейный характер зависимости изгибающего момента от кривизны может обусловить при неоднократном нагружении моментом, близким к предельному, во-первых, снижение значения самого предельного момента и, во-вторых, значительные остаточные прогибы корпуса. Поэтому, предельным пластическим изгибающим моментом (ППИМ) $M_{\text{пр}}$ будем называть максимальный изгибающий момент, который способен воспринять корпус судна, без возникновения общего остаточного прогиба / перегиба.

Целью данной работы, является сравнение отечественного метода оценки ППИМ, рекомендуемого Правилами, с одним из наиболее распространенных, в иностранной практике, методов, известном, как анализ прогрессивного разрушения.

Изложение основного материала. В отечественной практике, со времен принятия Стандартов прочности, основные теоретические предпосылки для оценки предельной прочности корпуса судна по предельному пластическому моменту, остаются неизменными и выражаются в следующем:

а) распределение напряжений в поперечном сечении корпуса судна соответствует гипотезе плоских сечений по напряжениям;

б) предельное состояние эквивалентного бруса (ЭБ) рассматривается при действии фибрового момента M_{ϕ}^{MIN} , когда в наиболее удаленном пояске ЭБ возникают напряжения равные пределу текучести;

в) напряжения равные пределу текучести возникают только в жестких связях крайнего пояска ЭБ, к которым относятся все продольные ребра и балки с присоединенными поясками;

г) потерявшая устойчивость пластина способна нести сжимающую нагрузку равную критической;

д) ребра жесткости с критическими напряжениями, удовлетворяющими условию $\sigma_{кр} > 2,6\sigma_T$, не подлежат редуцированию.

Эволюция Правил Российского Морского Регистра судоходства (РМРС) в разделе, касающемся определения ППИМ, касалась в основном уточнения методики определения редуцированных коэффициентов. В Правилах Российского Речного Регистра (РРР), учитывая более жесткие условия эксплуатации речных судов, по сравнению с морскими, было дополнительно введено редуцирование растянутых пластин ЭБ при поперечной системе набора.

В иностранной практике широкое распространение получил метод прогрессивного анализа, называемый также методом Смита (Smith C.S.). Основная идея этого метода - учет уменьшения несущей способности отдельных элементов после достижения ими предельной нагрузки, а также временной задержки при разрушении отдельных элементов.

Согласно методу Смита, поведение корпуса при действии вертикального момента может быть предсказано следующим образом:

а) осевая жесткость отдельного элемента описывается зависимостью средних напряжений от средних деформаций $\sigma_X = f(\epsilon_X)$, полученными по МКЭ;

б) изгибная жесткость поперечного сечения корпуса оценивается с использованием осевой жесткости составляющих его элементов;

в) вертикальная кривизна корпуса судна ϕ увеличивается постепенно в предположении, что распределение деформаций в сечении соответствует гипотезе плоских сечений и изгиб происходит относительно

мгновенной нейтральной оси (НО), положение которой меняется с изменением кривизны;

г) оценивается соответствующее приращение изгибающего момента, деформаций и напряжений в составных элементах;

д) приращение кривизны, изгибающих моментов, деформаций и напряжений суммируется по всему поперечному сечению для получения их совокупной величины и представления ее в графическом виде $M_{\text{пр}} = f(\phi)$.

Метод Смита в упрощенном варианте применяется в Правилах различных классификационных обществ, а также в рекомендациях МАКО, начиная с 2006 г. Основное отличие упрощенных методик от метода Смита состоит в получении кривых $\sigma_x = f(\varepsilon_x)$ без использования МКЭ, часто по эмпирическим формулам, полученным после обработки результатов натурных и численных экспериментов.

Существенные различия отечественной методики и западной, начинающиеся от различий в представлении эквивалентного бруса и заканчивающиеся поведением его составляющих, приводят к существенным различиям в полученных результатах. В табл.1 приведены результаты расчета ППИМ для большого балкера [1, 2], имеющего продольную систему набора (рис.1, табл.1).

Таблица 1

Составные элементы эквивалентного бруса

Номер р/ж	Тип и размеры р/ж	σ , МПа	Номер р/ж	Тип и размеры р/ж	σ , МПа
1	Полоса 390 x 27 мм	392,0	8	Тавр 283 x 9 / 100 x 17 мм	352,8
2	Тавр 333 x 9 / 100 x 16 мм	352,8	9	Тавр 333 x 9 / 100 x 18 мм	352,8
3	Тавр 283 x 9 / 100 x 14 мм	352,8	10	Тавр 333 x 9 / 100 x 19 мм	352,8
4	Тавр 283 x 9 / 100 x 18 мм	352,8	11	Тавр 383 x 9 / 100 x 17 мм	352,8
5	Тавр 333 x 9 / 100 x 17 мм	352,8	12	Тавр 383 x 10 / 100 x 18 мм	352,8
6	Тавр 283 x 9 / 100 x 16 мм	352,8	13	Тавр 383 x 10 / 100 x 21 мм	352,8
7	П/б 180 x 32,5 x 9,5 мм	235,2	14	Полоса 300 x 27 мм	392,0

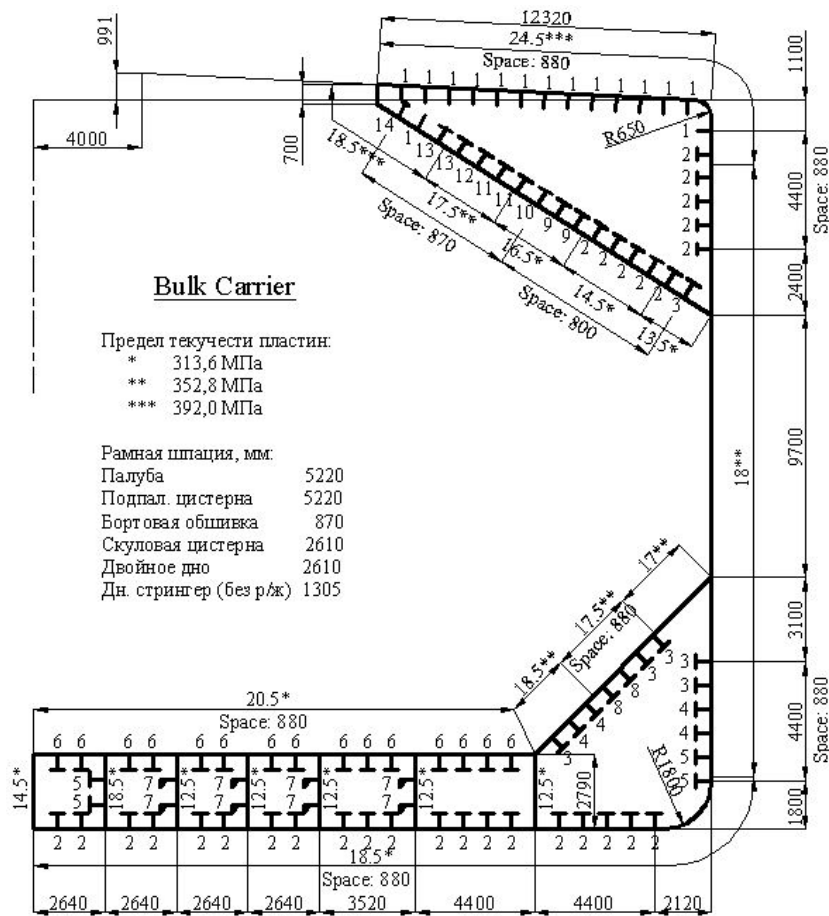


Рис. 1. Эквивалентный брус

На основе полученных в статьях [1, 2, 3] результатов можно сделать следующие выводы:

1. Для метода Смита $M_{PP} > M_{\Phi}^{MIN}$, то есть предполагается распространение напряжений текучести в направлении от крайнего сжатого пояска к НО (для некоторых типов ЭБ $M_{PP} > 1,3 M_{\Phi}^{MIN}$). Здесь видно существенное отличие от метода РМРС, в котором, считается, что корпус судна достигает своего предельного состояния, при напряжениях, в крайнем пояске, равных пределу текучести.

2. Положение НО в предельном состоянии $Z_{НО PP}$ перемещается к растянутому пояску, для рассмотренного судна перемещение составило больше 20 % от начального положения $Z_{НО PP}$ в расчете по методу Смита (табл.2), тогда, как по отечественной методике в предельном состоянии НО сместилась менее чем на 1 %.

Таблиця 2

Расчет ЭБ по различным методикам

Метод	Предельный момент	
	$M_{PP}^{ПЕРЕГ} / M_{\Phi}^{МИН}$	$M_{PP}^{ПРОГ} / M_{\Phi}^{МИН}$
РМРС	0,96	0,96
РРР	0,82	0,75
Метод Смита (МАКО)	1,02	0,75

Анализ рассмотренных методик в совокупности с рядом экспериментов, касающихся поведения сжатых жестких связей [3] позволяют сделать следующие рекомендации, качественно улучшающие методику расчета ППИМ:

Метод Регистра. Включение пластин и ребер в состав ЭБ своей эффективной площадью (отсутствие жестких частей в составе ЭБ). При расчете нового корпуса целесообразен учет начальных несовершенств и остаточных сварочных напряжений.

Метод Смита. Развитие деформаций, равных или превышающих деформации текучести, необходимо ограничить крайним пояском ЭБ.

Выводы. Обе рекомендации приводят к уменьшению величины ППИМ, это уменьшение в перспективе можно компенсировать учетом среднего предела текучести, что в совокупности существенно повысит качество оценки ППИМ, а также приведет к сближению теоретических предпосылок, описывающих процесс перехода корпуса судна в предельное состояние, на которых построены рассмотренные методики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Yao T. et. al. *Ultimate hull girder strength // Special task committee VI.2//14th international ship and offshore structures congress. – Vol.2. – Nagasaki, Japan. – 2000. – p.73.*
2. Paik J.K. *Guide for the ultimate strength assessment of ships // Marine technology. – 2004. – Vol.41. – № 3. – P.122-139.*
3. Аврамов В.В. *Полунатурный эксперимент и численное моделирование поведения сжатых «жестких связей» // Вісник ОДМУ. – 2009. – Вып. 26.*

Стаття надійшла до редакції 20 жовтня 2012 р.