

УДК 629.5 Е30

В.А. Нильва

**ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОРПУСА СУХОГРУЗНОГО СУДНА  
СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ ПРИ ПОТЕРЕ ЧАСТИ ПРОДОЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ**

*В работе изложены расчетные модели поврежденных корпуса судна смешанного плавания, упрощенный метод учета потери части продольных связей при повреждении.*

**Ключевые слова:** судно смешанного река-море плавания, аварийные ситуации, модель повреждения, несущая способность корпуса.

*В роботі викладено розрахункові моделі пошкодження корпусу судна змішаного плавання, наближений метод урахування втрати частини поздовжніх зв'язків при пошкодженні.*

**Ключові слова:** судно змішаного плавання, аварійні ситуації, модель пошкодження, несуча здатність корпус.

*Design damage models for the hull of river-sea going vessel, approximate method, taking into account the loss of the part of longitudinals, are stated.*

**Keywords:** river-sea going vessel, emergency situations, damage model, load-carrying strength of the hull.

**Постановка проблемы.** При получении судном повреждения, которое не привело к его гибели, возникает необходимость оперативного принятия решений по дальнейшим действиям:

1. При столкновении, повреждении днища, допустимо ли команде оставаться на судне и бороться за его живучесть, или уже необходима эвакуация из-за угрозы перелома корпуса (например, от продолжающей поступать в пространство корпуса забортной воды).

2. При посадке на мель, возможно ли скорейшее снятие судна с мели, или же при проведении спасательных мероприятий произойдет окончательное разрушение корпуса, что затруднит (или сделает невозможным) эксплуатацию судов на данном навигационном участке.

Для принятия таких решений требуется оценить с достаточной точностью состояние поврежденного судна, его остойчивость и прочность. Комплексный подход к оценке живучести поврежденного судна, предложенный Г.В. Егоровым [2-7] позволяет с достаточной точностью решить поставленную задачу.

Однако в диссертации [2] и последующих публикациях [3, 4, 5, 6, 7] речь шла о морских судах неограниченного района плавания, которые имеют, по сравнению с судами внутреннего и смешанного плавания,

существенно более высокий стандарт общей прочности и, соответственно, на них меньше влияют дополнительные нагрузки, которые возникают при аварийных ситуациях, тем более, когда имеет место потеря части продольных связей.

Это было наглядно продемонстрировано в сентябре 2003 года при спасении судна смешанного река-море плавания «Виктория» [12]. В соответствии с выполненным расчетным моделированием ситуации была успешно осуществлена судоподъемная операция, которая позволила предотвратить разлив значительного объема сырой нефти и поднять само судно в таком состоянии, чтобы сохранить его для последующего восстановления (т.е. без перелома корпуса).

Целью статьи является разработка упрощенного метода учета потери части продольных связей при оценке несущей способности аварийных корпусов сухогрузных судов смешанного и внутреннего плавания для служб аварийной поддержки и при расчетах аварийной прочности на ранних стадиях проектирования.

**Изложение основного материала.** Особенностью эксплуатации судов смешанного и внутреннего плавания, по сравнению с морскими судами, является значительное время их работы в условиях рек, каналов, узкостей, в связи, с чем значительно увеличивается вероятность столкновений и посадки судов на мель. При этом запасы общей прочности у судов такого типа безусловно меньше, чем у аналогичных судов неограниченного района плавания, соответственно возрастает вероятность перелома корпуса.

В аварийных ситуациях (столкновения, взрывы, посадки на мель и т.д.) происходит нарушение целостности конструкции, деформация и/или разрушение элементов конструкции (балок набора и листовых элементов).

Исключение поврежденных элементов из поперечного сечения корпуса судна (другими словами: размеры и тип повреждения) трудно унифицировать, опираясь на только статистические данные.

Поэтому в исследовании были использованы пять моделей повреждений, четыре из которых разработаны на основе соответствующих требований нормативных документов: Правил Российского Речного Регистра для судов внутреннего плавания [10, ПСВП, 13.1], Правил Российского Речного Регистра для судов смешанного плавания [11, ПССП, 13.1], Правил ЕЭК ООН перевозки опасных грузов по европейским внутренним водным путям ВОПОГ [1. 9.3.3.15] и Международной Конвенции МАРПОЛ [9, Правило 24] (см. таблицу 1), а пятая модель – трещина в комингсе – отражает наиболее опасное повреждение корпуса сухогрузного судна смешанного плавания, которое вместе с этим не редко при эксплуатации таких судов.

Таблиця 1

*Размеры расчетных повреждения по днищу и борту в соответствии с требованиями Правил РРР и международных Правил*

Характеристики		РРР (ПСВП)	РРР (ПССП)	ВОПОГ	МАРПОЛ
Борт	Длина	0,04L	L2/3/3	0,01L ( $\geq 5,0$ м)	L2/3/3 / 14,5 (меньшее)
	Глубина	0,075B / 0,9 м (меньшее)	B/5	0,59 м	B/5 или 11,5 (меньшее)
	Размер по вертикали	от ОП неограниченно вверх			
Днище	Длина	0,04L	L2/3/3 (0,3L от НП) / 5 м	0,01L ( $\geq 5,0$ м)	L/10 (0,3L от НП) / L/10 / 5 м
	Ширина	0,1B	B/6 / 5 м (меньшее)	3,0 м	B/6 / 10 м (меньшее, $\geq 5$ м)
	Размер по вертикали	0,05B / 0,8 м (меньшее)	B/15	0,49 м	B/15 / 6 м (меньшее)

Первые четыре модели, по сути, являются представлениями о последствиях посадок на мель или столкновений, которые закладываются соответствующими правилами в проектные расчеты аварийной посадки и остойчивости, поэтому их введение позволяет обеспечить создаваемому корпусу эквивалентную живучесть для всех последствий аварий – т.е. комплексный подход к борьбе за живучесть судов.

Модель «трещина в комингсе» подразумевает исключение конструкций продольного комингса из схемы эквивалентного бруса (например, комингс ПрБ), не затрагивая конструкции палубы и двойного борта.

В качестве объекта исследования использовалось сухогрузное судно смешанного плавания нового поколения проекта RSD44 «Волго-Дон макс» класса ( $L_{расч} = 138,9$  м,  $B = 16,5$  м, 52-169 шп. – средняя часть) [8].

Размеры поврежденных корпуса судна проекта RSD44 представлены в таблице 2.

Таблиця 2

*Размеры поврежденных корпуса судна (пр. RSD44) в соответствии с требованиями Правил*

Характеристики		РРР (ПСВП)	РРР (ПССП)	ВОПОГ	МАРПОЛ
Борт	Длина	5,556 м	8,94 м	13,89 м	-
	Глубина	0,9 м	3,3 м	0,59 м	-
	Размер по вертикали	от ОП неогр, вверх	от ОП неогр, вверх	от ОП неогр, вверх	-
Днище	Длина	5,556 м	8,94 м (0,3L), 5 м	13,89 м	13,89 м (0,3L), 5 м
	Ширина	1,65 м	2,75 м	3,0 м	16,5 м
	Размер по вертикали	0,8 м	1,1 м	0,49 м	1,1 м

При этом в отличие от работ [2, 6, 7], при моделировании поврежденный корпус судна рассматривалось не только типовое сечение по средней части, но и сечение по 38 шп. – района носовой переборки машинного отделения (МО).

Известно, что суда смешанного плавания, имеющие, как правило, кормовые МО, жилую и рулевую рубки, достаточно часто получают переломы именно перед ними.

Соответственно, было выбрано сечение по 38 шп., где внешние нагрузки еще достаточно велики, а площадь поперечного сечения корпуса уменьшается: часть продольных связей (РЖ днища и двойного дна, продольный комингс) прерываются, участок главной палубы находится в зоне неэффективной (затененной) ширины от люкового выреза второго трюма.

В случае повреждения корпуса из схемы эквивалентного бруса (см. рисунок) исключается группа элементов суммарной площадью  $\Delta F$ , имеющей координаты  $Y_D$  и  $Z_D$  и собственные моменты инерции  $i_Y$  и  $i_Z$ .

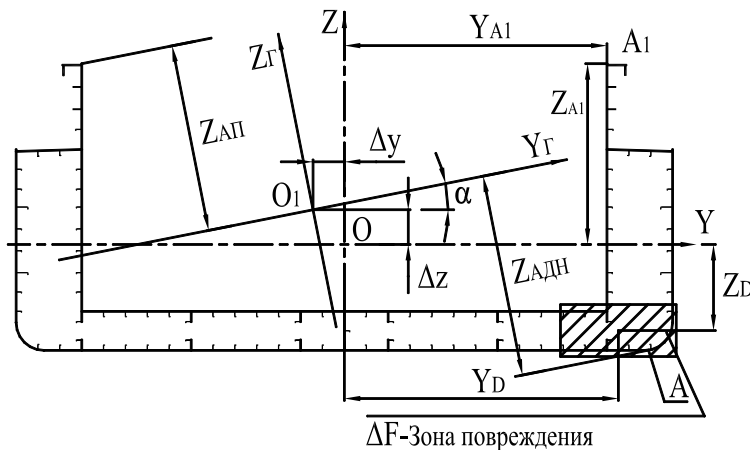


Рис. Схема поперечного сечения поврежденного сухогрузного судна

Площадь поперечного сечения неповрежденного исходного судна  $F_0$ ,  $y_0$  и  $z_0$  координаты центра тяжести, его моменты инерции  $I_Y$ ,  $I_Z$ .

Оси сравнения – главные центральные оси неповрежденного судна.

Изменение положения центра тяжести

$$\Delta z = -Z_D \Delta F / (F_0 - \Delta F),$$

$$\Delta y = -Y_D \Delta F / (F_0 - \Delta F).$$

Максимальные нормальные напряжения  $\sigma_{\max}$ , возникающие в конструкциях поврежденного судна, в  $K_{\Delta}$  раз больше, чем исходные  $\sigma_0$ .

$$K_{\Delta} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} = \frac{Z_A}{Z_{A1}} \frac{I_Y}{I_{Yr}} \beta,$$

где

$$\beta = \cos \alpha \left( 1 + \frac{Y_A}{Z_A} \frac{I_{Yr}}{I_{Zr}} \operatorname{tg} \alpha \right);$$

$\alpha$ , рад – угол наклона главных осей  $O_1Z_r$  и  $O_1Y_r$  относительно центральных осей;

$I_{Yr}, I_{Zr}, m^4$  – главные моменты инерции.

Характеристики  $\alpha, I_Y, I_Z, I_{Yr}, I_{Zr}$  определялись с помощью программы «ЭльБрус-МИБ».

$Y_A, Z_A, m$  – координаты наиболее удаленной точки (поврежденное судно).

$Y_{A1}, Z_{A1}, m$  – координаты наиболее удаленной точки (исходное судно).

При некоторых видах повреждений (повреждение борта при столкновении, шириной  $B/5$  и повреждение днища при посадке на мель, глубиной  $B/15$ ) в качестве  $Z_A$  используются 2 величины  $Z_{Aп}$  и  $Z_{дн}$ . Соответственно, определяется 2 величины  $K_{\Delta}$  для палубы и днища.

Коэффициент  $m$  характеризует, во сколько раз площадь поперечного сечения исходного судна больше площади поперечного сечения поврежденного.

$$m = 1 + \frac{\Delta F}{(F_0 - \Delta F)} = \frac{F_0}{(F_0 - \Delta F)}.$$

Расчет геометрических характеристик поперечных сечений (неповрежденных и поврежденных) и непосредственно повреждений производился по программе «ЭльБрус-МИБ».

В таблице 3 указаны геометрические характеристики неповрежденного корпуса, в таблицах 4 и 5 – поврежденного корпуса и повреждений соответственно (величины для миделевого сечения указаны в числителе, для 38 шп. – в знаменателе).

Таблица 3

*Геометрические характеристики неповрежденного корпуса судна  
(пр. RSD44)*

Характеристики	Мидель	38 шп.
$F_0, m^2$	0,7926	0,5746
$z_0, m$	2,662	2,028
$y_0, m$	0	0
$I_Y, m^4$	5,043	2,207
$I_Z, m^4$	28,64	19,94

Таблиця 4

*Геометрические характеристики поврежденного корпуса  
при различных моделях повреждений (мидель/шп. 38)*

Характеристики	PPP (ПСВП)	PPP (ПССП)	ВОПОГ	МАРПОЛ	«Грещина»	
Борт	$F_0-\Delta F$ , $M^2$	0,7176 / 0,5002	0,5209 / 0,3983	0,7239 / 0,5067	-	0,7046
	$z_0$ , м	2,652 / 1,908	2,152 / 1,649	2,653 / 1,921	-	2,189
	$y_0$ , м	-0,845 / -1,207	-3,632 / -3,144	-0,7746 / -1,095	-	-0,840
	$\alpha$ , рад	-0,00365 / -0,04502	-0,404 / -0,2516	-0,00321 / -0,03931	-	-0,1207
	$I_{YГ}$ , $M^4$	4,818 / 1,908	1,758 / 0,9859	4,857 / 1,960	-	3,273
	$I_{ZГ}$ , $M^4$	23,21 / 14,35	9,642 / 7,346	23,64 / 14,83	-	24,47
Днище	$F_0-\Delta F$ , $M^2$	0,7633 / 0,5495	0,7157 / 0,5060	0,7540 / 0,5363	0,3993 / 0,2731	-
	$z_0$ , м	2,757 / 2,115	2,892 / 2,240	2,795 / 2,169	4,793 / 3,832	-
	$y_0$ , м	-0,027 / -0,029	-0,1346 / -0,1773	-0,06351 / -0,09378	0,00 / 0,00	-
	$\alpha$ , рад	0,00224 / 0,001790	0,00953 / 0,008879	0,00553 / 0,005929	0,00 / 0,00	-
	$I_{YГ}$ , $M^4$	4,855 / 2,112	4,637 / 2,003	4,770 / 2,048	1,311 / 0,4578	-
	$I_{ZГ}$ , $M^4$	28,62 / 19,93	28,46 / 19,76	28,54 / 19,84	20,41 / 13,94	-
Скула	$F_0-\Delta F$ , $M^2$	0,7653 / 0,5494	0,7332 / 0,5342	0,7566 / 0,5439	-	-
	$z_0$ , м	2,750 / 2,111	2,843 / 2,160	2,786 / 2,139	-	-
	$y_0$ , м	-0,2640 / -0,3387	-0,5528 / -0,5405	-0,3245 / -0,3871	-	-
	$\alpha$ , рад	0,02305 / 0,02125	0,04671 / 0,03396	0,03004 / 0,02640	-	-
	$I_{YГ}$ , $M^4$	4,859 / 2,112	4,666 / 2,053	4,769 / 2,071	-	-
	$I_{ZГ}$ , $M^4$	27,10 / 18,51	25,66 / 17,73	26,89 / 18,42	-	-

Таблиця 5

*Геометрические характеристики поврежденный корпуса (мидель/шп. 38)*

Характеристики		PPP (ПСВП)	PPP (ПССП)	ВОПОГ	МАРПОЛ	«Трещина»
Борт	$\Delta F, \text{ м}^2$	0,07498 / 0,07447	0,2718 / 0,1764	0,06877 / 0,06796	-	0,08799
	$Z_0, \text{ м}$	2,759 / 2,836	3,640 / 2,886	2,758 / 2,833	-	6,456
	$Y_0, \text{ м}$	8,097 / 8,101	6,960 / 7,100	8,150 / 8,158	-	6,728
Днище	$\Delta F, \text{ м}^2$	0,02935 / 0,02522	0,07696 / 0,06871	0,03843 / 0,03843	0,3933 / 0,3015	-
	$Z_0, \text{ м}$	0,1919 / 0,1435	0,5250 / 0,4704	0,07235 / 0,07235	0,4995 / 0,3948	-
	$Y_0, \text{ м}$	0,6964 / 0,6206	1,250 / 1,302	1,301 / 1,301	0,00 / 0,00	-
Скула	$\Delta F, \text{ м}^2$	0,02729 / 0,02525	0,05946 / 0,04056	0,03605 / 0,03076	-	-
	$Z_0, \text{ м}$	0,2058 / 0,2288	0,4309 / 0,2959	0,07096 / 0,07697	-	-
	$Y_0, \text{ м}$	7,397 / 7,358	6,817 / 7,117	6,806 / 6,836	-	-

В таблице 6 приведены геометрические характеристики поперечных сечений (миделевое и 38 шп.) при различных вариантах повреждений (столкновение, посадка на камень в районе ДП, посадка на камень в районе скулы, посадка на мель, трещина в продольном комингсе).

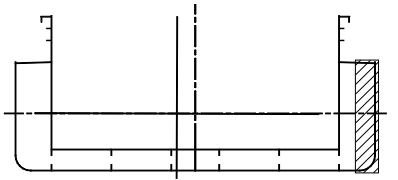
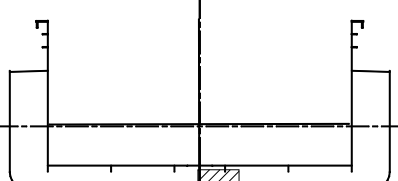

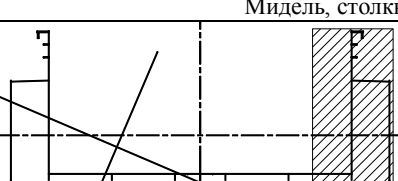

Расчет эквивалентного бруса по обычной методике или по приведенной выше схеме сложен и не всегда реально возможен в силу отсутствия или неполноты технической документации на стадии проектирования или в процессе аварийно-спасательных операций.

Анализ типовых повреждений показал, что изменение площади сечений  $m$ ; координат ЦТ площади сечения  $\Delta Z/H$ ,  $\Delta Y/B$ ; угла  $\alpha$ ; коэффициентов  $\beta$  и  $K_{\Delta}$  постоянны в пределах одного конструктивного типа сечения корпуса, поэтому данные таблицы 6 можно применять для оперативных расчетов и проектных расчетов сухогрузных судов смешанного плавания других проектов.

Проанализировав результаты моделирования повреждения «посадка на камень» в районе ДП и скулы, можно отметить, что значение  $K_{\Delta}$  больше при повреждении скулы. При этом поперечные размеры повреждения идентичны, исключаемая площадь больше при посадке на камень в районе ДП. Таким образом, большее влияние на  $\sigma_{\max}$  оказывает не площадь повреждения  $\Delta F$ , а отстояние  $Y_D$  группы поврежденных элементов от ДП.

Таблиця 6

*Изменение характеристик поперечного сечения  
при различных моделях повреждений*

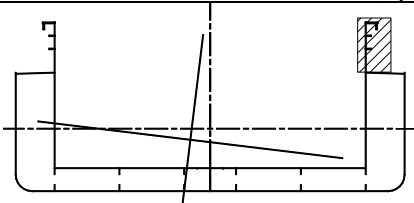
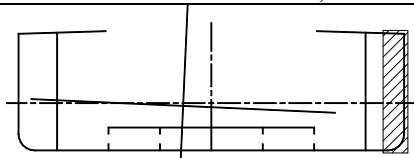
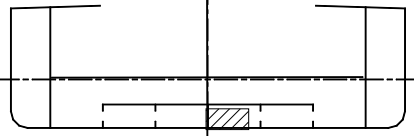
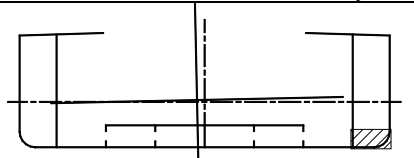
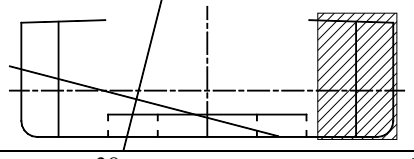
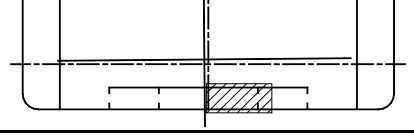
Схема повреждения	m	$\frac{\Delta_z/H}{\Delta_y/B}$	$\alpha$ , рад	$\beta$	$K_\Delta$
Мидель, столкновение, глубина 0,9 м					
	1,1045	-0,00203 / -0,0513	-0,00365	0,9988	1,054
Мидель, посадка на камень в районе ДП, глубина 0,8 м, ширина 1,65 м					
	1,0385	0,019 / -0,00162	0,00224	1,00056	1,021
Мидель, посадка на камень в районе скулы, глубина 0,8 м, ширина 1,65 м					
	1,0357	0,0175 / -0,016	0,02305	1,00533	1,057
Мидель, столкновение, глубина В/5					
	1,5218	-0,0102 / -0,2201	-0,404	0,8581	4,697 / 1,937
Мидель, посадка на камень в районе ДП, глубина В/15, ширина В/6					
	1,1075	0,04596 / -0,00815	0,00953	1,00224	1,049




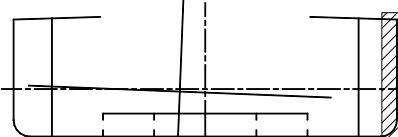
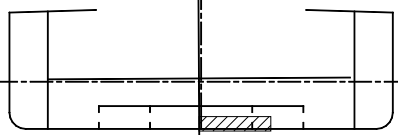
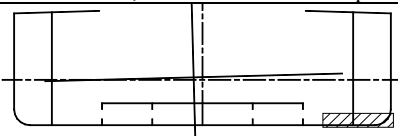
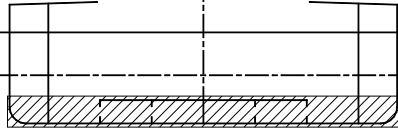
Продолжение табл. 6

Схема повреждения	m	$\frac{\Delta_z/H}{\Delta_y/B}$	$\alpha$ , рад	$\beta$	$K_\Delta$
Мидель, посадка на камень в районе скулы, глубина В/15, ширина В/6					
	1,0811	0,0362 / -0,0335	0,04671	1,00959	1,115
Мидель, столкновение, глубина 0,59 м					
	1,095	-0,00182 / -0,0469	-0,00321	0,9989	1,045
Мидель, посадка на камень в районе ДП, глубина 0,49 м, ширина 3,0 м					
	1,0510	0,0264 / -0,004	0,00553	1,00134	1,036
Мидель, посадка на камень в районе скулы, глубина 0,49 м, ширина 3,0 м					
	1,0476	0,0247 / -0,0196	0,03004	1,00665	1,079
Мидель, посадка на мель, глубина В/15					
	1,985	0,426 / 0,0	0,00	1,00	2,042 / 4,058

Продолжение табл. 6

Схема повреждения	m	$\frac{\Delta_z/H}{\Delta_y/B}$	$\alpha$ , рад	$\beta$	$K_\Delta$
Мидель, трещина комингса					
	1,1249	0,0948 / -0,051	-0,121	0,97	1,941 / 0,987
38 шп., столкновение, глубина 0,9 м					
	1,1489	-0,02406 / -0,0731	-0,04502	0,98314	1,345
38 шп., посадка на камень в районе ДП, глубина 0,8 м, ширина 1,65 м					
	1,0459	0,0173 / -0,00173	0,00179	1,00028	1,057
38 шп., посадка на камень в районе скулы, глубина 0,8 м, ширина 1,65 м					
	1,046	0,01654 / -0,0205	0,02125	1,00301	1,09
38 шп., столкновение, глубина В/5					
	1,4429	-0,076 / -0,1906	-0,2516	0,91248	4,181 / 1,867
38 шп., посадка на камень в районе ДП, глубина В/15, ширина В/6					
	1,1358	0,0423 / -0,0107	0,00887 9	1,00130	1,081

Продолжение табл. 6

Схема повреждения	m	$\Delta_z/H / \Delta_y/B$	$\alpha$ , рад	$\beta$	$K_\Delta$
38 шп., посадка на камень в районе скулы, глубина B/15, ширина B/6					
	1,0759	0,0263 / -0,0328	0,03396	1,00436	1,122
38 шп., столкновение, глубина 0,59 м					
	1,1341	-0,0216 / -0,0663	-0,03931	0,98533	1,286
38 шп., посадка на камень в районе ДП, глубина 0,49 м, ширина 3,0 м					
	1,0717	0,028 / -0,0057	0,00593	1,00089	1,078
38 шп., посадка на камень в районе скулы, глубина 0,49 м, ширина 3,0 м					
	1,0566	0,0221 / -0,0234	0,0264	1,00356	1,109
38 шп., посадка на мель, глубина B/15					
	2,104	0,3606 / 0,0	0,0	1,0	2,078 / 6,216

Попадание двойного борта (вместе с комингсом) или двойного дна в зону повреждения влечет за собой значительное увеличение наибольших нормальных напряжений (при бортовом повреждении в районе миделя  $K_\Delta = 4,51 / 1,86$ , при днищевом –  $K_\Delta = 2,04 / 4,06$ ).

Возникновение трещины в продольном комингсе – аварийная ситуация с высокой вероятностью наступления для сухогрузных судов смешанного плавания. При моделировании повреждения продольного комингса правого борта наибольшие нормальные напряжения возрастают в 1,94 раза для комингса правого борта и в 1,41 раза для комингса левого борта. Наибольшие нормальные напряжения в днищевых конструкциях остаются практически неизменными, по сравнению с исходным состоянием судна ( $K_\Delta = 0,987$ ).

**Вывод.** В соответствии с предлагаемым подходом, можно оперативно и с достаточной точностью определить геометрические характеристики поврежденного корпуса сухогрузного судна смешанного плавания и оценить уровень нормальных напряжений в наиболее удаленных точках поперечного сечения, что принципиально важно для расчетного обеспечения борьбы за живучесть и для проектных расчетов непотопляемости с учетом остаточной прочности корпуса.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Европейское соглашение о международной перевозке опасных грузов по внутренним водным путям (ВОПОГ). Т.1/ Организация объединенных наций.* – Нью-Йорк, Женева, 2010.
2. *Егоров Г.В. Разработка методов оптимизации прочностных решений при эксплуатации судов: Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук.* – Одесса: ОИИМФ, 1993. – 431 с.
3. *Егоров Г.В. Остаточная прочность корпуса в расчетах непотопляемости и обеспечении борьбы за живучесть. Определения и накопленный опыт // Вісник ОНМУ.* – Одесса: ОНМУ, 2005. – Вып. 18. – С. 57-72.
4. *Егоров Г.В. Остаточная прочность корпуса в расчетах непотопляемости и обеспечении борьбы за живучесть. Размеры повреждений и условия аварий // Проблеми техніки.* – 2006. – № 1. – С. 3-23.
5. *Егоров Г.В. Остаточная прочность корпуса в расчетах непотопляемости и обеспечении борьбы за живучесть. Критерии и примеры // Вісник ОНМУ.* – Одесса: ОНМУ, 2006. – Вып. 19. – С. 49-63.
6. *Егоров Г.В. Остаточная прочность корпуса в расчетах непотопляемости и обеспечении борьбы за живучесть (Учет стесненного кручения и крена) // Зб. наук. праць НУК.* – Миколаїв: НУК, 2006. – № 2. – С. 39-48.
7. *Егоров Г.В. Остаточная прочность корпуса в расчетах непотопляемости и обеспечении борьбы за живучесть (учет потери части продольных связей) // Зб. наук. праць НУК.* – Миколаїв: НУК, 2007. – № 3. – С. 38-50.
8. *Егоров Г.В., Автутов Н.В., Багаутдинов Р.Д. Речные сухогрузные суда пр. RSD44 дедвейтом 5540 т с пониженным надводным габаритом // Судостроение.* – 2012. – № 2. – С. 14-23.
9. *Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененная протоколом 1978 г. (МАРПОЛ 73/78). Приложение 1.*
10. *Правила Российского Речного Регистра. Т. 2 / Российский Речной Регистр.* – М., 2008.

11. *Правила Российского Речного Регистра. Т. 4/ Российский Речной Регистр. – М., 2008.*
12. *Сохранение прочности и остойчивости поврежденного судна при подъеме танкера «Виктория» / Г.В. Егоров, И.М. Чистяков, Б.Н. Станков, О.А. Ворона // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2007. – Вип. 21. – С. 7-21.*

*Стаття надійшла до редакції 15.10.2013*

**Рецензент** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Воробйова» Одеського національного морського університету **О.В. Демідюк**