

УДК 629.5 Е30

В.А. Нильва

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

В работе изложены расчетные модели повреждений корпуса танкера смешанного плавания, упрощенный метод учета потери части продольных связей при повреждении.

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

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

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

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

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

Постановка задачи. Перевозка нефти и нефтепродуктов на судах внутреннего и смешанного плавания экономически выгодна за счет достаточных объемов партии груза и относительно небольшой продолжительности рейса. При этом стандарты прочности для таких судов значительно ниже, чем у наливных судов неограниченного района плавания. Требования международных конвенций не распространяются на суда смешанного плавания при условии, что они не совершают международные рейсы, а значит необходимые конструктивные меры по обеспечению прочности судов и безопасности перевозки наливного груза, заложенные в этих требованиях, как правило, не закладывались для судов такого типа. Соответственно, возможные аварии для таких судов при прохождении узкостей, на мелководье сопровождаются угрозой с повышенной вероятностью не только нарушения навигации, но и экологического загрязнения.

Данная работа является продолжением анализа геометрических характеристик корпуса судна смешанного плавания при потере части продольных связей, начатого публикацией [12].

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

Изложение основного материала. В качестве объекта исследования принят танкер типа «Волгонефть» проекта 1577 (Lрасч = 138,9 м, В = 16,5 м, Н = 5,5 м). Суда проекта 1577/550А являются продолжением первой серии танкеров пр. 558, серийное строительство которых было начато с 1963 г.

Сначала суда строились на класс «М» Речного Регистра для эксплуатации на внутренних водных путях, в дальнейшем – на класс «М-ПР» для возможности совершения рейсов также и в прибрежных морских районах.

На судах проекта 588, который начал разрабатываться советскими конструкторами в конце 50-х годов, конструкция судна предусматривала наличие двойных бортов и двойного дна. Как упоминалось в [8], наличие двойных бортов и двойного дна для танкеров было революционным решением для своего времени, которое намного опередило тенденции мирового судостроения. Применение толщин 5-7 мм для корпусных конструкций (а именно, для обшивки продольной и поперечных переборок и двойного борта, настила двойного дна) позволило существенно уменьшить массу корпуса, что привело с одной стороны к увеличению грузоподъемности в реке, но с другой стороны – к снижению эксплуатационного ресурса судна. Построечные толщины обеспечивали 20-ти летнюю эксплуатацию судна без ремонта в классе «М». Для класса «М-ПР» ресурс связей корпуса снижался до 10-20 лет, а для класса «М-СП» этот показатель падал до 5-10 лет.

У эксплуатируемых судов на сегодняшний день отмечается интенсивный коррозионный износ корпусных конструкций, что приводит к увеличению объемов ремонтно-восстановительных работ. При этом из-за особенностей проекта и нынешнего состояния судов типа «Волгонефть» суда вводятся в эксплуатацию с минимальными запасами прочности, которых недостаточно для пятилетнего цикла между классификационными освидетельствованиями без проведения дополнительного ремонта.

Для судов старше 20 лет отмечается стабильное возрастание количества аварий, при этом пик аварий приходится на суда с возрастом 30 лет. Средний возраст танкеров типа «Волгонефть» по проекту 1577/550А (110 единиц) составил 38,5 лет на 1 января 2013 года [8].

Была выявлена закономерность для танкеров данного типа: 87,5 % катастроф происходят из-за повреждений корпуса, а из-за пожаров и взрывов – только 12,5 %, что довольно нестандартно для танкеров [8].

Анализ состояния поврежденного корпуса судна проекта 1577 актуален, учитывая частую эксплуатацию судов на мелководье и в узкостях и специфику танкеров типа «Волгонефть», связанную, как с техническим

состоянием корпуса, так и со статистикой аварий. Для осуществления данного анализа использовался комплексный подход к оценке живучести поврежденного судна, предложенный Г.В. Егоровым [2-7].

Для моделирования поврежденного состояния корпуса было использовано четыре модели [12], которые олицетворяют подходы к аварийной остойчивости различных морских организаций и классификационных обществ, и которые были разработаны на основе соответствующих требований нормативных документов: Правил Российского Речного Регистра (РРР) для судов внутреннего плавания [10], Правил РРР для судов смешанного плавания [11], Правил ЕЭК ООН перевозки опасных грузов по европейским внутренним водным путям (ВОПОГ) [1] и Международной Конвенции МАРПОЛ [9].

Размеры соответствующих повреждений корпуса судна проекта 1577 представлены в таблице 1.

Таблица 1

*Размеры повреждений корпуса судна (пр. 1577)
в соответствии с требованиями Правил*

Характеристики		РРР (ПСВП)	РРР (ПССП)	ВОПОГ	МАРПОЛ
Борт	Длина	5,15 м	8,50 м	12,87 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	5,15 м	8,50 м (0,3L), 5 м	13,89 м	12,87 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

В качестве расчетных сечений рассматривалось миделевое сечение и сечение по 170 шпангоуту (носовая переборка МО).

Суда смешанного плавания, у которых МО и жилая рубка расположены в корме, достаточно часто получают переломы именно перед ними. Соответственно, было выбрано сечение по 170 шп., где внешние нагрузки еще достаточно велики, а площадь поперечного сечения корпуса резко уменьшается.

Схема эквивалентного бруса для миделевого сечения представлена на рис. 1, для сечения по 170 шп. – на рис.2. Из схемы эквивалентного бруса миделевого сечения были исключены элементы конструкции (а именно, верхние поясья двойного борта и продольной переборки), предел текучести которых (235 МПа) отличается в меньшую сторону от предела текучести остальной конструкции в средней части (295 МПа). В таблице 2 представлены геометрические характеристики неповрежденного

корпуса танкера. Расчет геометрических характеристик поперечных сечений судна (в исходном и поврежденных состояниях) и непосредственно самих повреждений производился по программе «ЭльБрус-МИБ».

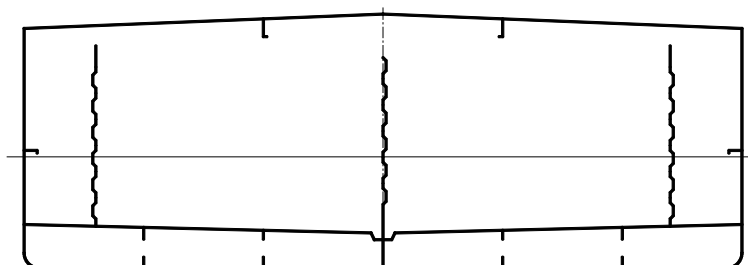


Рис. 1. Схема эквивалентного бруса миделевого сечения

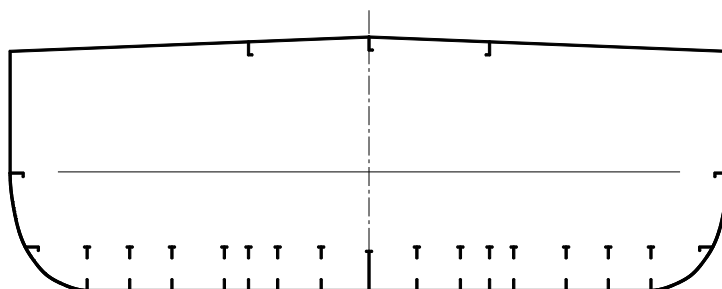


Рис. 2. Схема эквивалентного бруса сечения по 170 шп.

Таблица 2

Геометрические характеристики
неповрежденного корпуса судна (пр. 1577)

Характеристики	Мидель	170 шп.
$F_0, \text{м}^2$	0,6069	0,4463
$z_0, \text{м}$	2,553	2,728
$y_0, \text{м}$	0,00	0,00
$I_Y, \text{м}^4$	3,279	2,800
$I_Z, \text{м}^4$	17,96	13,08

В соответствии с методикой, изложенной в [2], при получении повреждения корпуса из схемы эквивалентного бруса (см. рис. 3) исключается группа элементов суммарной площадью ΔF , имеющей координаты Y_D и Z_D и собственные моменты инерции i_Y и i_Z . Площадь исходного не-

поврежденного поперечного сечения судна F_0 , y_0 и z_0 – координаты его центра тяжести, I_Y , I_Z – его моменты инерции. Оси сравнения – главные центральные оси неповрежденного судна.

Изменение положения центра тяжести – Δz и Δy . Максимальные нормальные напряжения σ_{\max} , возникающие в конструкциях поврежденного судна, в K_Δ раз больше, чем исходные напряжения σ_0 . Угол поворота главных осей O_1Z_Γ и O_1Y_Γ относительно осей сравнения обозначается α . Коэффициент m характеризует, во сколько раз площадь исходного поперечного сечения больше площади поврежденного поперечного сечения.

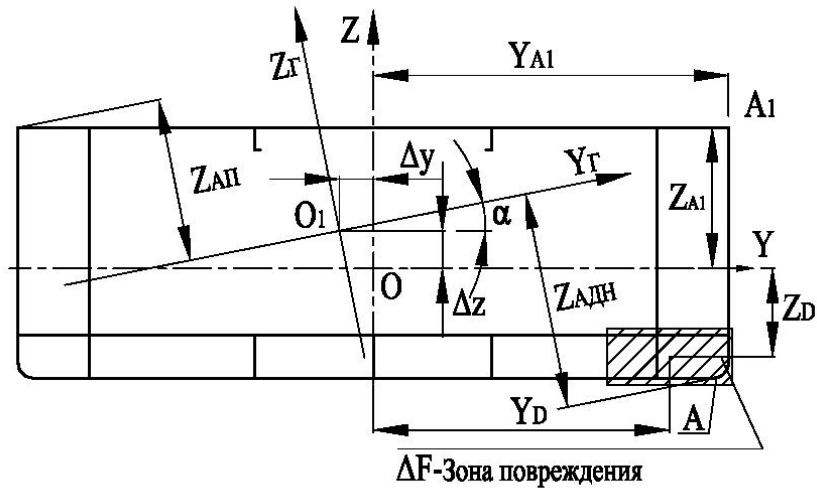


Рис. 3. Схема поперечного сечения поврежденного наливного судна

В таблице 3 приведены геометрические характеристики поперечных сечений (миделевого и на 170 шп.) при различных вариантах повреждений.

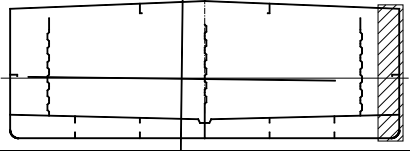
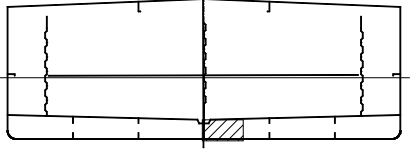
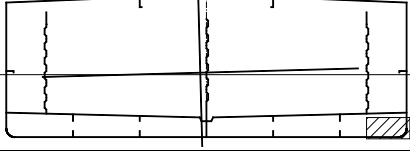
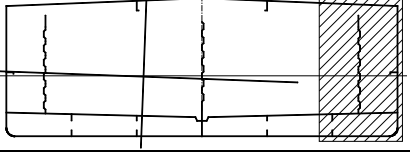
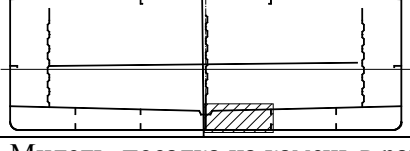
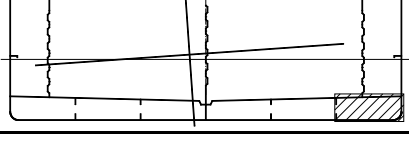
Конструктивные типы поперечных сечений танкеров смешанного плавания различных проектов похожи, что дает возможность применять данные таблицы 3 при определении коэффициента m ; координат ЦТ площади сечения $\Delta Z/H$ и $\Delta Y/B$; угла α ; коэффициентов β и K_Δ для оперативных расчетов и проектных – на начальных стадиях.

Повреждение днища в районе ДП (посадка на камень) незначительно влияет на увеличение наибольших нормальных напряжений ($K_\Delta = 1,024$), так как угол поворота главных центральных осей мал.

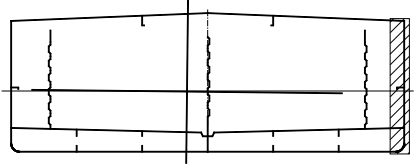
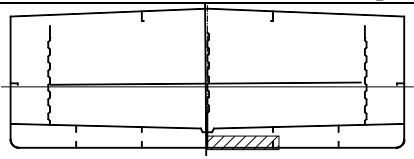
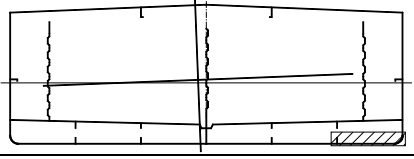
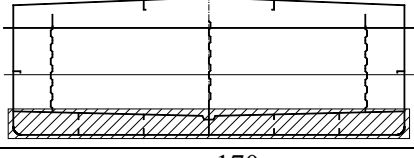
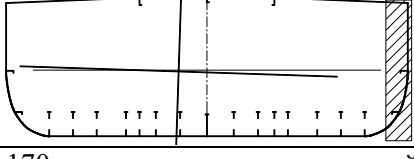
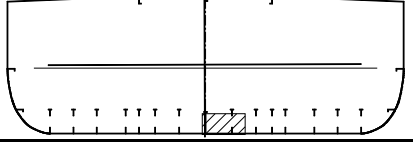
Повреждение днища в районе скулы уже заметнее влияет на увеличение наибольших нормальных напряжений из-за большей ординаты повреждения, что приводит к большему повороту главных центральных осей ($K_\Delta = 1,138 / 1,166$).

Таблиця 3

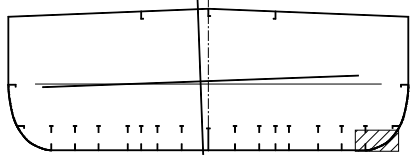
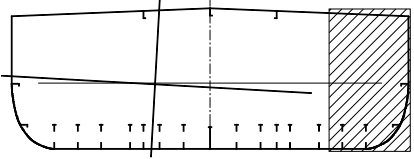
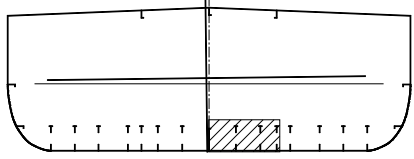
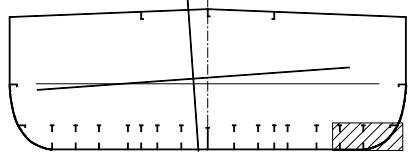
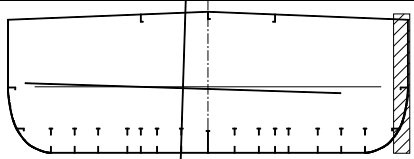
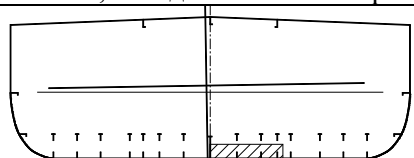
*Изменение характеристик поперечного сечения
при различных моделях повреждений*

Схема повреждения	t	$\frac{\Delta z/H}{\Delta y/B}$	α , рад	β	K_{Δ}
Мидель, столкновение, глубина 0,9 м					
	1,121	- 0,00464/ -0,0591	-0,0125	0,999	1,096
Мидель, посадка на камень в районе ДП, глубина 0,8 м, ширина 1,65 м					
	1,0423	0,0178/ -0,0016	0,0026	1,000	1,013
Мидель, посадка на камень в районе скулы, глубина 0,8 м, ширина 1,65 м					
	1,0332	0,0145/ -0,0153	0,0270	1,0002	1,013
Мидель, столкновение, глубина $B/5$					
	1,351	-0,0065/ -0,149	- 0,0373	0,990	1,322/ 1,056
Мидель, посадка на камень в районе ДП, глубина $B/15$, ширина $B/6$					
	1,0988	0,0383/ -0,0073	0,0106	1,000	1,024
Мидель, посадка на камень в районе скулы, глубина $B/15$, ширина $B/6$					
	1,0978	0,0368/ -0,0414	0,0707	1,0287	1,138/ 1,166

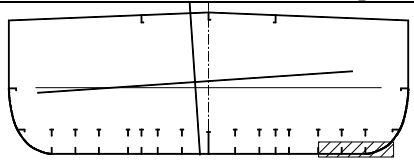
Продолжение табл. 3

Схема повреждения	m	$\Delta z/H / \Delta y/B$	α , рад	β	K_{Δ}
Мидель, столкновение, глубина 0,59 м					
	1,106	-0,0043/ -0,053	- 0,0113	0,999	1,078
Мидель, посадка на камень в районе ДП, глубина 0,49 м, ширина 3,0 м					
	1,0516	0,0235/ -0,0043	0,0073	1,000	1,020
Мидель, посадка на камень в районе скулы, глубина 0,49 м, ширина 3,0 м					
	1,0505	0,0229/ -0,021	0,0389	1,0003	1,023
Мидель, посадка на мель, глубина $B/15$					
	1,940	0,361 0,00	0,00	1,000	1,900/ 6,673
170 шп., столкновение, глубина 0,9 м					
	1,145	-0,010/ -0,071	- 0,0327	0,996	1,096
170 шп., посадка на камень в районе ДП, глубина 0,8 м, ширина 1,65 м					
	1,059	0,0266/ -0,0023	0,0041	1,000	1,012

Продолжение табл. 3

Схема повреждения	m	$\Delta z/H / \Delta y/B$	α , рад	β	K_{Δ}
170 шп., посадка на камень в районе скулы, глубина 0,8 м, ширина 1,65 м					
	1,047	0,0203/ -0,0195	0,0364	1,0005	1,008/ 1,045
170 шп., столкновение, глубина $B/5$					
	1,321	-0,0090/ -0,139	- 0,0556	0,932	1,277/ 1,090
170 шп., посадка на камень в районе ДП, глубина $B/15$, ширина $B/6$					
	1,094	0,0423/ -0,0066	0,0117	1,000	1,021/ 1,083
170 шп., посадка на камень в районе скулы, глубина $B/15$, ширина $B/6$					
	1,091	0,0386/ -0,0364	0,0709	1,036	1,146/ 1,271
170 шп., столкновение, глубина 0,59 м					
	1,127	-0,010/ -0,063	- 0,0317	0,997	1,080
170 шп., посадка на камень в районе ДП, глубина 0,49 м, ширина 3,0 м					
	1,111	0,0498/ -0,0094	0,0164	1,000	1,025/ 1,127

Продолжение табл. 3

Схема повреждения	m	$\frac{\Delta z/H}{\Delta y/B}$	α , рад	β	K_{Δ}
170 шп., посадка на камень в районе скулы, глубина 0,49 м, ширина 3,0 м					
	1,0945	0,0424/ -0,034	0,0674	1,033	1,141/ 1,283
170 шп., посадка на мель, глубина $B/15$					
	1,884	0,393/0	0,00	1,000	2,052/ 10,62

Рассматривая повреждения днища (модель «посадка на камень в районе скулы»), необходимо отметить, что в сечениях, где отсутствует двойное дно, большее влияние на коэффициент K_{Δ} оказывает повреждение с большей шириной, так как продольные связи, установленные на поврежденном участке обшивки, исключаются из эквивалентного бруса вне зависимости от глубины повреждения.

Повреждение борта по всей высоте на глубину 0,59 м (или 0,9 м) приводит к увеличению наибольших нормальных напряжений на 8-10 %, повреждение на глубину $B/5$ (3,3 м) – на 32,2 % в связях палубы ($K_{\Delta} = 1,322$) и на 5,6 % в связях днища ($K_{\Delta} = 1,056$).

Рассматривая аналогично полученные результаты для сухогрузного судна [12], можно отметить схожие показатели:

– коэффициент $K_{\Delta} = 1,049$ для повреждение днища в районе ДП и $K_{\Delta} = 1,115$ для повреждение днища в районе скулы.

– коэффициент $K_{\Delta} = 1,045-1,054$ для повреждение борта по всей высоте на глубину 0,59 м (или 0,9 м)

При этом повреждение днища в районе скулы для сухогрузного судна сопровождается увеличением наибольших нормальных напряжений только для связей палубы, тогда как для танкера они возрастают в связях и днища, и палубы.

Основным существенным различием является то, что при повреждении борта на глубину $B/5$ увеличение наибольших нормальных в палубе больше в 3,6 раза, и в 1,8 раза для днищевых связей для сухогрузного судна ($K_{\Delta} = 4,697 / 1,937$), по сравнению с танкером.

Вывод. В соответствии с предлагаемым подходом, с использованием данных данной публикации можно оперативно и с достаточной точностью определить геометрические характеристики поврежденного корпуса наливного 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 на начальных стадиях проектирования – 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 и 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.* – Одеса: ОНМУ, 2005. – Вип. 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.* – Одеса: ОНМУ, 2006. – Вип. 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 обеспечения борьбы за живучесть (учет потери части продольных связей) // Зб. наук. праць НУК.* – Миколаїв: НУК, 2007. – № 3. – С. 38-50.
8. *Егоров Г.В., Егоров А.Г., Бутенко Н.Ф. Оценка эксплуатационной прочности и риска повреждения корпусов танкеров типа «Волгонефть» // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції.* – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 88-90.
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. *Нильва В.А. Оценка несущей способности корпуса сухогрузного судна смешанного плавания при потере части продольных связей // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2013. – Вип. 39. – С. 96-108.*

Стаття надійшла до редакції 17.02.2014

Рецензент – перший заступник генерального директора Морського інженерного бюро **І.А. Ільницький**