



ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
И СОЦИАЛЬНЫЙ СОВЕТ

Distr.
GENERAL

ECE/TRANS/WP.15/AC.2/2008/7
6 November 2007

RUSSIAN
Original: ENGLISH

ЕВРОПЕЙСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

КОМИТЕТ ПО ВНУТРЕННЕМУ ТРАНСПОРТУ

Рабочая группа по перевозкам опасных грузов

Совместное совещание экспертов по Правилам, прилагаемым
к Европейскому соглашению о международной перевозке
опасных грузов по внутренним водным путям (ВОПОГ)*

Двенадцатая сессия

Женева, 21-25 января 2008 года

Пункт 4 с) предварительной повестки дня

ПРЕДЛОЖЕНИЯ О ВНЕСЕНИИ ПОПРАВОК В ПРАВИЛА,
ПРИЛАГАЕМЫЕ К ВОПОГ**

Различные предложения о внесении поправок

Альтернативные варианты постройки (танкеров)

Передано Центральной комиссией судоходства по Рейну (ЦКСР)***

* Это совещание организовано совместно Европейской экономической комиссией и Центральной комиссией судоходства по Рейну (ЦКСР).

** Распространено ЦКСР на немецком языке в качестве документа CCNR/ZKR/ADN/WP.15/AC.2/2008/5.

*** В соответствии с программой работы Комитета по внутреннему транспорту на 2006-2010 годы (ECE/TRANS/166/Add.1, подпрограмма 02.7 b)).

1. ЦКСП предлагает включить в Правила, прилагаемые к ВОПОГ, новые положения, призванные допустить альтернативные варианты постройки танкеров (например, с грузовыми танками большей вместимости, с другими расстояниями между боковыми стенками и грузовыми танками, а также положения, касающиеся процедур, которые надлежит применять в таких случаях.

2. Ниже приводятся предложения о внесении поправок в часть 9 Правил.

9.3.1.11.1 а)

9.3.2.11.1 а)

9.3.3.11.1 а)

9.3.1.11.2 а)

9.3.2.11.7 В начале пункта включить следующие слова: "Если в соответствии с разделом 9.3.4 не допускаются альтернативные варианты постройки, то".

Включить новый раздел 9.3.4 следующего содержания:

"9.3.4 Альтернативные варианты постройки

Максимально допустимая вместимость грузового танка, определяемая в соответствии с пунктами 9.3.1.11.1, 9.3.2.11.1 и 9.3.3.11.1, может быть превышена, и минимальные расстояния, предусмотренные в пунктах 9.3.1.11.2 а) и 9.3.2.11.7, могут не соблюдаться, если выполняются положения настоящего раздела. Вместимость грузового танка не должна превышать 1 000 м³.

Когда судно построено в соответствии с положениями настоящего раздела, признанное классификационное общество должно определить, как применяли расчеты, произведенные в соответствии с этапами 1-13, предусмотренными в подразделе 9.3.4.3, и должно представить свои заключения компетентному органу для утверждения. Компетентный орган может запросить дополнительные расчеты или доказательства.

Компетентный орган должен включить этот вариант постройки в свидетельство о допущении в соответствии с разделом 8.6.1.

9.3.4.1 Общие положения

Танкеры, оборудованные грузовыми танками вместимостью, превышающей максимально допустимую вместимость, определяемую в соответствии с пунктами 9.3.1.11.1, 9.3.2.11.1 или 9.3.3.11.1, допускаются с точки зрения безопасности при том условии, что грузовые танки достаточно защищены от повреждений при столкновении с помощью ударопрочных бортовых конструкций.

Танкеры, у которых расстояние между боковыми стенками и грузовыми танками не соответствует положениям пунктов 9.3.1.11.2 а) или 9.3.2.11.7, допускаются с точки зрения безопасности при условии, что грузовые танки достаточно защищены от повреждений при столкновении с помощью ударопрочных бортовых конструкций.

Достаточная степень защиты может быть доказана путем сравнения риска, связанного с использованием обычной конструкции (исходной конструкции), которая, по мнению признанного классификационного общества, отвечает Правилам ВОПОГ и минимальным требованиям постройки, с риском, связанным с использованием ударопрочной конструкции (новой конструкции), характеризующейся либо повышенной вместимостью грузовых танков, либо меньшими расстояниями между боковыми стенками и грузовыми танками. Если риск, связанный с использованием ударопрочной конструкции, равен риску, связанному с использованием обычной конструкции, или меньше него, то доказан эквивалентный или более высокий уровень безопасности.

В нижеследующих подразделах объясняется, каким образом должен доказываться эквивалентный или более высокий уровень безопасности.

В нижеследующих подразделах объясняется, каким образом должен доказываться эквивалентный или более высокий уровень безопасности.

9.3.4.2 Подход

Главными параметрами являются вероятность разрыва танка в результате столкновения и площадь вокруг судна, загрязненная вытекшим вследствие этого грузом.

Для описания риска используется следующая формула:

$$R = P C ,$$

где: R риск [м^2],
 P вероятность разрыва танка [],
 C следствие разрыва танка [м^2].

Вероятность P разрыва танка зависит от вероятностного распределения энергии, высвобождаемой судами, которые могут столкнуться с танкером, и способности судна, подвергшегося удару, поглотить эту энергию без разрушения танка.

Физическое следствие C разлива груза в результате разрыва танка выражается как площадь загрязненного района вокруг судна.

Из этой формулы можно заключить, что увеличение площади района, загрязненного в результате утечки груза, может быть компенсировано уменьшением вероятности утечки. Уменьшение этой вероятности может быть достигнуто с помощью ударопрочных бортовых конструкций.

В нижеследующих подразделах показано, каким образом следует рассчитывать вероятности разрыва танков, каким образом следует вычислять способность бортовых конструкций судна поглощать энергию, высвобождаемую при столкновении, и каким образом следует определять увеличение следствий в результате утечки груза из грузовых танков повышенной вместимости.

9.3.4.3 Процедура расчета

Как правило, процедура расчета состоит из 13 основных этапов. Для указанных ниже этапов полезно обратиться к таблице на рис. 1, в которой показано, каким образом надлежит рассчитывать взвешенную вероятность разрыва танка.

Этап 1

Помимо (новой) конструкции, предусматривающей увеличенные грузовые танки повышенной вместимости или уменьшенное расстояние между боковой стенкой и грузовым танком и ударопрочные бортовые конструкции,

разработать конструкцию (исходную конструкцию) с теми же основными размерами. Эта исходная конструкция должна удовлетворять требованиям, изложенным в разделе 9.3.1 (тип G), 9.3.2 (тип C) или 9.3.3 (тип N), и отвечать минимальным требованиям в отношении размеров элементов набора корпуса, установленным признанным классификационным обществом.

Расчеты на этапах 2-10 должны производиться как для исходной конструкции, так и для ударопрочной конструкции.

Этап 2

Определить соответствующие типичные места удара при столкновении (i=1 - n).

На рис. 1 представлен общий случай, когда имеется "n" число типичных мест удара.

Число типичных мест удара зависит от системы набора корпуса судна. Выбор мест удара должен быть утвержден признанным классификационным обществом.

Места удара в вертикальном направлении

Танкер типа С и танкер типа N

Места удара в вертикальном направлении определяются различиями в осадке между судном, нанесшим удар, и судном, подвергшимся удару. На основе значений осадки в балласте и расчетной осадки как судна, нанесшего удар, так и судна, подвергшегося удару, места удара в вертикальном направлении определяются следующим образом (рис. 2):

T_{1max} означает расчетную осадку судна, нанесшего удар, и T_{1min} означает осадку в балласте судна, нанесшего удар, а T_{2max} и T_{2min} означают соответственно расчетную осадку и осадку в балласте судна, подвергшегося удару. Зона между $T1=T_{1min}$, $T1=T_{1max}$ и $T2=T_{2min}$, $T2=T_{2max}$ является показателем для всех возможных вариантов столкновения. В этом примере показаны три места удара в вертикальном направлении, которые представлены тремя площадями ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 (рис. 2).

Точка P_1 соответствует случаю, когда нижняя кромка вертикальной части носа толкаемой баржи или носа судна с V-образными шпангоутами наносит удар на уровне палубы судна (в отношении форм носа см. пункт 9.3.4.4.6). На рис. 2 треугольная зона, расположенная ниже диагонали P_1 , соответствует случаю "удар выше палубы".

Точка P_2 соответствует случаю, когда верхняя кромка носа толкаемой баржи или носа судна с V-образными шпангоутами наносит удар на уровне верхней

кромки ширстрека. На рис. 2 площадь, расположенная между диагональю P_1 и диагональю P_2 , соответствует случаю "удар на уровне палубы".

Площадь над диагональю P_2 соответствует случаю "удар ниже палубы".

См. также рис. 3, на котором показаны типичные места удара в вертикальном направлении.

Полезные весовые коэффициенты можно получить для каждого случая столкновения путем деления соответствующих площадей на общую площадь, соответствующую всем случаям столкновения.

Что касается массы как судна, нанесшего удар, так и судна, подвергшегося удару, то следует выбирать максимальные возможные значения для различных осадок, т.е. наивысшую точку на каждой из соответствующих диагоналей.

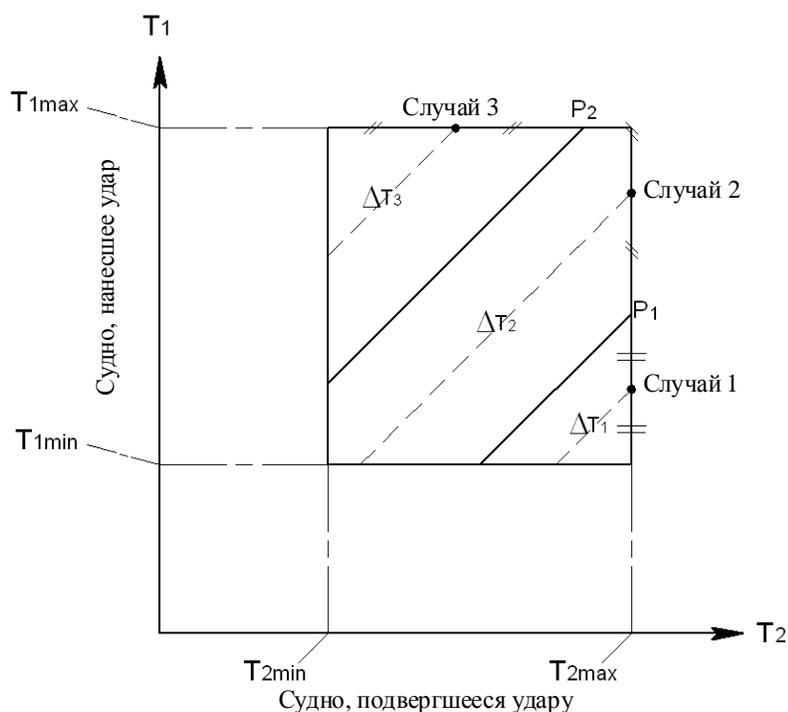


Рис. 2: Определение мест удара в вертикальном направлении

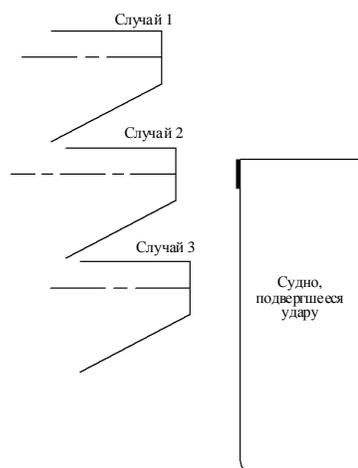


Рис. 3: Пример мест удара в вертикальном направлении

Танкеры типа С и типа N

В зависимости от системы набора корпуса судна классификационное общество может потребовать определить дополнительные места удара.

Танкеры типа G

Как правило, необходимо учитывать только удары на уровне половины высоты танка. Однако классификационное общество может потребовать определить дополнительные места удара.

Места удара в продольном направлении

Танкеры типа С и типа N

Как правило, представляются по меньшей мере три типичных места удара в продольном направлении:

- Место 1 по переборке
- Место 2 между шпангоутами
- Место 3 по шпангоуту.

Танкер типа G

Как правило, представляются по меньшей мере три типичных места удара:

Место 1 по торцевой стороне грузового танка

Место 2 между шпангоутами

Место 3 по шпангоуту.

Число мест удара

Танкеры типа C и типа N

В приведенном выше примере комбинация мест удара дает результат $3 \times 3 = 9$ мест удара.

Танкер типа G

В приведенном выше примере комбинация мест удара дает результат $1 \times 3 = 3$ случая.

Дополнительные места удара в случае танкеров типа G

Необходимо учитывать еще два места, а именно места удара по опоре танка и по устройствам закрепления танка. Эти места должны быть утверждены признанным квалификационным обществом.

Этап 3

Определить для каждого типичного места удара весовой коэффициент, отражающий относительную вероятность того, что удар будет нанесен в этом типичном месте. На рис. 1 эти коэффициенты обозначены как $wfloc(i)$ (колонка J). Выбранные значения должны быть представлены признанному классификационному обществу для утверждения.

Весовой коэффициент для каждого места удара является результатом умножения коэффициента, связанного с местом удара в вертикальном направлении, на коэффициент, связанный с местом удара в горизонтальном направлении.

Места удара в вертикальном направлении

Танкеры типа С и типа N

Весовые коэффициенты для различных мест удара в вертикальном направлении равны соотношению между парциальными площадями и общей площадью, как показано на рис. 1. Для случая столкновения 1 весовой коэффициент равен соотношению между площадью треугольника, образованного P_1 , максимальной осадкой судна, подвергшегося удару (T_{2max}), и минимальной осадкой судна, нанесшего удар (T_{1min}), и площадью прямоугольника, образованного минимальной и максимальной осадками судна, нанесшего удар, и судна, подвергшегося удару.

Танкер типа G

Весовой коэффициент равен 1,0, поскольку имеется лишь одно место удара.

Места удара в продольном направлении

Танкеры типа С и типа N

Весовые коэффициенты для мест удара в продольном направлении равны соотношению между характерной длиной, связанной с типичным местом удара, и длиной танка.

Характерная длина определяется ниже:

- удар по переборке: $0,2 \times$ расстояние между шпангоутами, расположенными от переборки в сторону кормы и/или носа, но не более 450 мм;
- удар по шпангоуту: $0,2 \times$ расстояние между шпангоутами, расположенными от шпангоута в сторону кормы и/или носа, но не более 450 мм;
- удар между шпангоутами: длина танка минус длина, связанная с "ударом по переборке", и длина, связанная с "ударом по шпангоуту".

Танкер типа G

Весовые коэффициенты для мест удара в продольном направлении равны соотношению между характерной длиной, связанной с типичным местом удара, и длиной танка.

Характерная длина определяется ниже:

- удар по торцевой стороне танка: расстояние между поперечной переборкой и началом цилиндрической части танка;
- удар по шпангоуту: $0,2$ x расстояние между шпангоутами, расположенными от шпангоута в сторону кормы и/или носа, но не более 450 мм;
- удар между шпангоутами: длина танка минус длина, связанная с "ударом по торцевой стороне танка", и длина, связанная с "ударом по шпангоуту".

Этап 4

Рассчитать способность поглощения энергии для каждого места удара. Способность поглощения энергии определяется как внутренняя энергия плюс энергия проскальзывания, поглощенная судном, подвергшимся удару, во время нанесения удара носом до такого момента пробивания, при котором начинается разрыв грузового танка. Эти значения энергии должны определяться путем явных расчетов методом конечных элементов в соответствии с пунктом 9.3.4.4.1.

Эти расчеты должны производиться для двух разных сценариев столкновения:

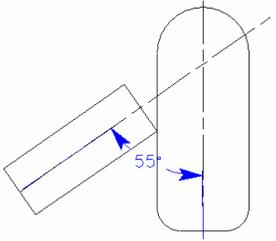
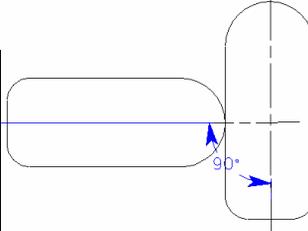
сценарий I, при котором нос толкаемой баржи пробивает судно, подвергшееся удару;

сценарий II, при котором нос судна с V-образными шпангоутами пробивает судно, подвергшееся удару.

Формы носа определяются в пункте 9.3.4.4.6.

На рис. 1 эти значения энергии обозначены как $E_{loc(i)}$ и указаны в колонке D.

Таблица 1: Коэффициенты снижения скорости для сценария I или сценария II

Наиболее неблагоприятные сценарии		Причины			
		Ошибка связи и плохая видимость	Техническая ошибка	Ошибка человека	
		0,50	0,20	0,30	
I		Нос голкаемой баржи, угол удара 55° 0,80	0,66	0,50	1,00
		Нос судна с V-образными шпангоутами, угол удара 90° 0,20	0,30		1,00
II			0,30		1,00

Этап 5

Рассчитать для каждого значения способности поглощения энергии при столкновении $E_{loc(i)}$ соответствующую вероятность превышения, т.е. вероятность разрыва танка.

Для этой цели должна использоваться приведенная ниже формула расчета кумулятивных функций плотности вероятностей (КФПВ). Соответствующие коэффициенты должны быть взяты из таблицы с учетом эффективной массы судна, подвергшегося удару.

$$P_{x\%} = C_1 E_{loc(i)}^3 + C_2 E_{loc(i)}^2 + C_3 E_{loc(i)} + C_4,$$

где: $P_{x\%}$ — вероятность разрыва танка,
 C_{1-4} — коэффициент, взятый из таблицы,
 $E_{loc(i)}$ — способность поглощения энергии.

Эффективная масса равна величине максимального водоизмещения судна, помноженной на коэффициент 1,4. Должны быть рассмотрены оба сценария столкновения (таблица 1).

В случае сценария I (нос толкаемой баржи, угол удара 55°) должны учитываться три кривые КФПВ:

КФПВ 50% (скорость = 0,5 V_{max}),

КФПВ 66% (скорость = 2/3 V_{max}),

КФПВ 100% (скорость = V_{max}).

В случае сценария II (нос судна с V-образными шпангоутами, угол удара 90°) должны учитываться две кривые КФПВ:

КФПВ 30% (скорость = 0,3 V_{max}),

КФПВ 100% (скорость = V_{max}).

На рис. 1 (колонка F) эти вероятности обозначены как $P50%$, $P66%$, $P100%$ и $P30%$, $P100%$, соответственно.

Таблица 2: Коэффициенты для кривых КФПВ

Эффективная масса судна, подвергшегося удару, в тоннах	Скорость = 1 x V_{max}				диапазон
	коэффициенты				
	C_1	C_2	C_3	C_4	
14 000	4,106E-05	-2,507E-03	9,727E-03	9,983E-01	4<E<39
12 000	4,609E-05	-2,761E-03	1,215E-02	9,926E-01	4<E<36
10 000	5,327E-05	-3,125E-03	1,569E-02	9,839E-01	4<E<33
8 000	6,458E-05	-3,691E-03	2,108E-02	9,715E-01	4<E<31
6 000	7,902E-05	-4,431E-03	2,719E-02	9,590E-01	4<E<27
4 500	8,823E-05	-5,152E-03	3,285E-02	9,482E-01	4<E<24
3 000	2,144E-05	-4,607E-03	2,921E-02	9,555E-01	2<E<19
1 500	- 2,071E-03	2,704E-02	-1,245E-01	1,169E+00	2<E<12

Эффективная масса судна, подвергшегося удару, в тоннах	Скорость = 2/3 x Vmax				
	коэффициенты				
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	диапазон
14 000	4,638E-04	-1,254E-02	2,041E-02	1,000E+00	2<E<17
12 000	5,377E-04	-1,427E-02	2,897E-02	9,908E-01	2<E<17
10 000	6,262E-04	-1,631E-02	3,849E-02	9,805E-01	2<E<15
8 000	7,363E-04	-1,861E-02	4,646E-02	9,729E-01	2<E<13
6 000	9,115E-04	-2,269E-02	6,285E-02	9,573E-01	2<E<12
4 500	1,071E-03	-2,705E-02	7,738E-02	9,455E-01	1<E<11
3 000	-1,709E-05	-1,952E-02	5,123E-02	9,682E-01	1<E<8
1 500	-2,479E-02	1,500E-01	-3,218E-01	1,204E+00	1<E<5

Эффективная масса судна, подвергшегося удару, в тоннах	Скорость = 0,5 x Vmax				
	коэффициенты				
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	диапазон
14 000	2,621E-03	-3,978E-02	3,363E-02	1,000E+00	1<E<10
12 000	2,947E-03	-4,404E-02	4,759E-02	9,932E-01	1<E<9
10 000	3,317E-03	-4,873E-02	5,843E-02	9,878E-01	2<E<8
8 000	3,963E-03	-5,723E-02	7,945E-02	9,739E-01	2<E<7
6 000	5,349E-03	-7,407E-02	1,186E-01	9,517E-01	1<E<6
4 500	6,303E-03	-8,713E-02	1,393E-01	9,440E-01	1<E<6
3 000	2,628E-03	-8,504E-02	1,447E-01	9,408E-01	1<E<5
1 500	-1,566E-01	5,419E-01	-6,348E-01	1,209E+00	1<E<3

Эффективная масса судна, подвергшегося удару, в тоннах	Скорость = 0,3 x Vmax				
	коэффициенты				
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	диапазон
14 000	5,628E-02	-3,081E-01	1,036E-01	9,991E-01	1<E<3
12 000	5,997E-02	-3,212E-01	1,029E-01	1,002E+00	1<E<3
10 000	7,477E-02	-3,949E-01	1,875E-01	9,816E-01	1<E<3
8 000	1,021E-02	-5,143E-01	2,983E-01	9,593E-01	1<E<2
6 000	9,145E-02	-4,814E-01	2,421E-01	9,694E-01	1<E<2
4 500	1,180E-01	-6,267E-01	3,542E-01	9,521E-01	1<E<2
3 000	7,902E-02	-7,546E-01	5,079E-01	9,218E-01	1<E<2
1 500	-1,031E+00	2,214E-01	1,891E-01	9,554E-01	0,5<E<1

Диапазон, в котором применяется эта формула, указан в колонке б:

ниже этого диапазона $P_{x\%} = 1$,

выше этого диапазона $P_{x\%} = 0$.

Этап 6

Рассчитать взвешенные вероятности разрыва танка путем умножения каждой из вероятностей разрыва $P(\#\#)\%$ (рис. 1, колонка F) на весовые коэффициенты, приведенные в таблице 3.

Таблица 3: Весовые коэффициенты для каждой характерной скорости столкновения

			<i>весовой коэффициент</i>
Сценарий I	КФПВ 50%	wf50%	0,2
	КФПВ 66%	wf66%	0,5
	КФПВ 100%	wf100%	0,3
Сценарий II	КФПВ 30%	wf30%	0,7
	КФПВ 100%	wf100%	0,3

На рис. 1 (колонка H) эти вероятности обозначены как $Pw50\%$, $Pw66\%$ и т.д.

Этап 7

Суммировать все взвешенные вероятности $Pw(\#\#)\%$ (рис. 1, колонка H) для каждого рассматриваемого места удара. Это дает результирующие вероятности $Ploc(i)$ (рис. 1, колонка I).

Этап 8

Умножить вероятности разрыва танка для каждого места удара на весовые коэффициенты $wfloc(i)$ (рис. 1, колонка J), связанные с местами удара.

Суммировать все взвешенные вероятности для обоих сценариев столкновения I и II. Это дает взвешенные вероятности разрыва для обоих сценариев столкновения.

Этап 9

Суммировать взвешенные вероятности $P_{wloc}(i)$ для обоих сценариев столкновения I и II. Это дает значения P_{scenI} и P_{scenII} (рис. 1, колонка L).

Этап 10

Рассчитать итоговую вероятность разрыва танка по приведенной ниже формуле (рис. 1, колонка O):

$$P_w = 0,8 P_{scenI} + 0,2 P_{scenII}$$

Этап 11

P_w для новой конструкции обозначается как P_n .

P_w для исходной конструкции обозначается как P_r .

Этап 12

Рассчитать увеличение эффекта - в случае повреждения танка - ввиду увеличения вместимости грузовых танков.

Для грузовых танков вместимостью от 380 м³ до 1 000 м³, содержащих легковоспламеняющиеся, токсичные и кислые жидкости или газы, следует предположить, что увеличение эффекта находится в линейной зависимости от увеличения вместимости танков (коэффициент пропорциональности = 1,00).

Используется следующая формула:

$$\frac{C_n}{C_r} = \frac{V}{V_r},$$

где: C_n следствие, связанное с новой конструкцией, предусматривающей повышенную вместимость грузовых танков,

C_r следствие, связанное с исходной конструкцией, предусматривающей вместимость грузовых танков 380 м³,

V максимальная вместимость увеличенного грузового танка,

V_r максимальная вместимость увеличенного грузового танка судна с исходной конструкцией.

Эта формула была рассчитана для характерных грузов, перечисленных в приведенной ниже таблице.

Таблица 4: Характерные грузы

	Номер ООН	Описание
Бензол	1114	Легковоспламеняющаяся жидкость Группа упаковки II Опасно для здоровья
Акрилонитрил стабилизированный, НАК	1093	Легковоспламеняющаяся жидкость Группа упаковки I Токсичная, стабилизированная
н-Гексан	1208	Легковоспламеняющаяся жидкость Группа упаковки II
Нонан	1920	Легковоспламеняющаяся жидкость Группа упаковки III
Аммиак	1005	Токсичный, коррозионный газ Сжиженный под давлением
Пропан	1978	Легковоспламеняющийся газ Сжиженный под давлением

Если предположить, что площадь, загрязненная в результате утечки конкретного груза, будет иметь коэффициент пропорциональности более 1,0, как указано в разделе для этапа 12, загрязненная площадь должна определяться путем отдельного расчета. С учетом рассчитанной таким образом загрязненной площади должно быть проведено сравнение, описываемое в рамках этапа 13.

Этап 13

Сравнить соотношение вероятностей $\frac{P_r}{P_n}$ с соотношением следствий $\frac{C_n}{C_r}$.

Если $\frac{C_n}{C_r} \leq \frac{P_r}{P_n}$, то новая конструкция отвечает установленным требованиям.

9.3.4.4 Расчет способности поглощения энергии

Расчет способности поглощения энергии при столкновении должен производиться путем анализа методом конечных элементов (МКЭ). Анализ должен проводиться с использованием признанного конечно-элементного комплекса (например, LS-DYNA, PAM-CRASH, ABAQUS и т.д.), который позволяет рассматривать как геометрические эффекты, так и нелинейные воздействия на материалы. Такой комплекс должен также позволять осуществлять реалистическое моделирование разрыва.

Фактически используемая программа и уровень детализации расчетов должны быть утверждены признанным классификационным обществом.

9.3.4.4.1 Модели конечных элементов

Прежде всего необходимо построить две модели конечных элементов: одну - для ударопрочной конструкции и одну - для исходной конструкции. В основном при построении моделей конечных элементов должны учитываться все пластические деформации, которые могут возникнуть во всех рассматриваемых случаях столкновения. В принципе модель должна охватывать всю длину грузового пространства. На обоих концах грузового пространства поступательная степень свободы должны быть ограничена. Поскольку в большинстве ситуаций столкновения общий изгиб секций судна не имеет значения для оценки энергии пластической деформации, достаточно учитывать лишь половину секций судна. В этом случае поперечные смещения в диаметральной плоскости должны ограничиваться. После построения модели конечных элементов необходимо произвести пробный расчет столкновения, чтобы убедиться в том, что не произошло каких-либо пластических деформаций вблизи бортов и установленных границ. В противном случае смоделированное пространство должно быть увеличено.

В целом участки конструкции, затрагиваемые во время столкновений, должны быть смоделированы достаточно детально, в то время как другие части могут быть смоделированы в общих чертах. Плотность конечно-элементной сетки должна быть подходящей для приемлемого описания локальных деформаций смятия и для реалистической демонстрации разрыва элементов на основе соответствующего критерия разрыва. Опыт проведения таких расчетов показывает, что максимальный размер элемента, как правило, составляет менее 200 мм на участках столкновения. Форма элемента "наружная обшивка",

должна характеризоваться отношением высоты к ширине, равным по меньшей мере 1/3. В случае обшивки размер элемента L определяется как максимальная длина обеих сторон элемента: $L = \max\{L_1, L_2\}$. Соотношение между длиной элемента и шириной элемента должно быть больше 5. Другие значения должны быть рассмотрены совместно с признанным классификационным обществом. Обычно листовые конструкции, такие, как наружная обшивка, внутренний корпус (корпус танка в случае танкеров для перевозки газов), шпангоуты, а также стрингеры могут быть представлены в виде балочных элементов. На участках столкновения должны учитываться вырезы и лазы.

Должен использоваться метод штрафа "узел - сегмент":

- contact_automatic_single_surface LS-DYNA,
- самовоздействие PAMCRASH,
- аналогичные типы контакта другие программы КЭ.

9.3.4.4.2 Свойства материалов

Поскольку расчет столкновения предполагает экстремальное поведение конструкций как с геометрическим, так и с нелинейным воздействием на материалы, включение свойств материалов до их предела прочности при растяжении оказывает существенное влияние на величину способности поглощения энергии при столкновении. В целом рекомендуется использовать подлинное соотношение "напряжение - деформация", которое может быть получено путем проведения испытания на растяжение следующим образом:

$$\sigma = C \cdot \varepsilon^n, \quad 4$$

где $n = \ln(1 + A_g)$ 5

и

$$C = R_m \cdot \left(\frac{e}{n}\right)^n. \quad 6$$

A_g - это максимальная однородная деформация, связанная с предельным напряжением при растяжении R_m . Оба эти значения могут быть получены при проведении испытания на растяжение. Величина e - постоянная Эйлера (натуральные логарифмы). Однако во многих случаях имеется лишь значение предельного напряжения при растяжении R_m .

В этих случаях для судостроительной стали с максимальным значением R_{eH} , равным 355 Н/мм², можно использовать следующую приближенную формулу для получения точного значения A_g на основе известного значения R_m ([МПа]):

$$A_g = \frac{1}{0,24 + 0,01395 \cdot R_m} \cdot 7$$

Часто при начале расчетов не имеется данных о свойствах материалов, полученных в ходе испытаний на растяжение. В таком случае должны использоваться минимальные значения A_g и R_m , указанные в правилах. В случае стали, имеющей предел текучести более 355 Н/мм², или других материалов, помимо стали, свойства материалов должны рассматриваться совместно с признанным классификационным обществом.

9.3.4.4.3 *Критерии разрыва*

Как упоминалось выше, самым важным показателем с точки зрения энергетической эквивалентности различных конструкций является значение критической энергии, при котором происходит разрыв корпуса танка судна, подвергшегося удару. В рамках анализа МКЭ эта критическая ситуация представлена первым разрывом конечного элемента, который подвергся на данный момент крайне сильной пластической деформации.

Обычно первый разрыв элемента при анализе МКЭ определяется значением деформации разрушения. Если рассчитанные значения деформации, например эффективной пластической деформации, основной деформации или - в случае элемента наружной обшивки - деформации в направлении толщины этого элемента, превышает определенное значение деформации разрушения, то этот элемент должен быть исключен из модели КЭ и энергия деформации этого элемента более не будет изменяться на последующих этапах расчета.

На основе измеренных значений толщины вблизи трещин рекомендуется использовать следующее определение деформации разрушения:

$$\varepsilon_f(l_e) = \varepsilon_g + \varepsilon_e \cdot \frac{t}{l_e},$$

где ε_g - однородная деформация и ε_e - поперечное сужение, а t и l_e - толщина листа и длина отдельного элемента соответственно.

Значения однородной деформации и поперечного сужения, полученные на основе замеров толщины для судостроительной стали с максимальным значением R_{eH} , равным 355 Н/мм², зависят от рассчитанных состояний напряжения и приводятся в нижеследующей таблице:

состояния напряжения	1-D	2-D
ε_g	0,079	0,056
ε_e	0,76	0,54
тип элемента	балка, рамная связь	наружная обшивка, лист

Гораздо более реалистические значения ε_g и ε_e могут быть получены путем дополнительных замеров толщины в прототипных случаях повреждения и в ходе экспериментов.

Могут использоваться и другие критерии разрушения, если могут быть представлены достаточные доказательства их адекватности.

Случай танкера типа G

Критерий разрыва для самого газового танка основывается на величине эквивалентной деформации. Предполагается, что для разрыва типичная деформация составляет 0,15. Эквивалентная пластическая деформация, связанная со сжатием, не учитывается.

9.3.4.4.4 *Определение способности поглощения энергии*

Способность поглощения энергии представляет собой сумму внутренней энергии, т.е. энергии, связанной с деформацией конструктивных элементов, и энергии трения.

Коэффициент трения рассчитывается по следующей формуле:

$$\mu_c = FD + (FS - FD) \cdot e^{-DC|v_{rel}|},$$

где FD = 0,1,

FS = 0,3,

DC = 0,01

$|v_{rel}|$ = относительная скорость трения.

Вычисленная кривая пробойной силы должна быть представлена признанному классификационному обществу.

Случай танкера типа G

Способность поглощения энергии танкера типа G должна включать энергию, поглощаемую в процессе сжатия паров в танке.

Для расчета этой энергии используется следующая формула:

$$E = \frac{P_1 \cdot v_1 - P_0 \cdot v_0}{1 - \gamma},$$

где:

γ c_p/c_v (1,4)

c_p теплоемкость при постоянном давлении [Дж/(кгК)]

c_v теплоемкость при постоянном объеме [Дж/(кгК)]

p_0 давление в начале сжатия [Па]

p_1 давление в конце сжатия [Па]

v_0 объем в начале сжатия [м³]

v_1 объем в конце сжатия [м³]

9.3.4.4.5 Определение судна, нанесшего удар, и определение носа, нанесшего удар

При расчете способности поглощения энергии при столкновении требуется использовать два типа формы носа, нанесшего удар:

- форма носа I: нос толкаемой баржи (в отношении подробных сведений и размеров см. пункт 9.3.4.4.6),

- форма носа II: нос судна с V-образными шпангоутами без бульба (в отношении подробных сведений и размеров см. пункт 9.3.4.4.б).

Поскольку в большинстве случаев столкновения нос, нанесший удар, подвергается лишь незначительным деформациям по сравнению с бортовыми конструкциями судна, подвергшегося удару, нос, нанесший удар, будет определяться как жесткий. Лишь для отдельных ситуаций, когда судно, подвергшееся удару, имеет очень прочные бортовые конструкции по сравнению с носом, нанесшим удар, и поведение конструкций судна, подвергшегося удару, испытывает влияние пластической деформации носа, нанесшего удар, последний должен рассматриваться как деформируемый. В этом случае конструкция носа, нанесшего удар, должна быть также смоделирована, и до проведения расчетов необходимо проконсультироваться с признанным классификационным обществом.

9.3.4.4.6 *Определение случаев столкновения*

При расчетах конечных элементов "разрушение при столкновении" необходимо исходить из следующих предположений:

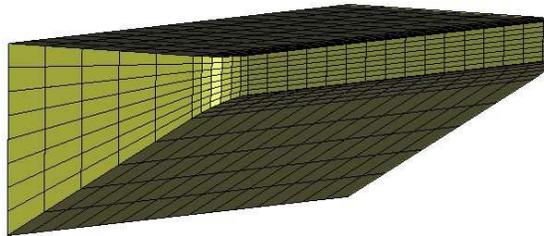
- а) в случае столкновения с носом судна с V-образными шпангоутами угол удара равен 90° , а в случае носа толкаемой баржи - 55° ; и
- б) судно, подвергшееся удару, имеет нулевую скорость, а судно, нанесшее удар, производит пробой с постоянной скоростью 10 м/с.

Энергия деформации, поглощаемая судном, подвергшимся удару, зависит от места удара. См. этап 2 в настоящем подразделе, где описываются места, которые следует учитывать.

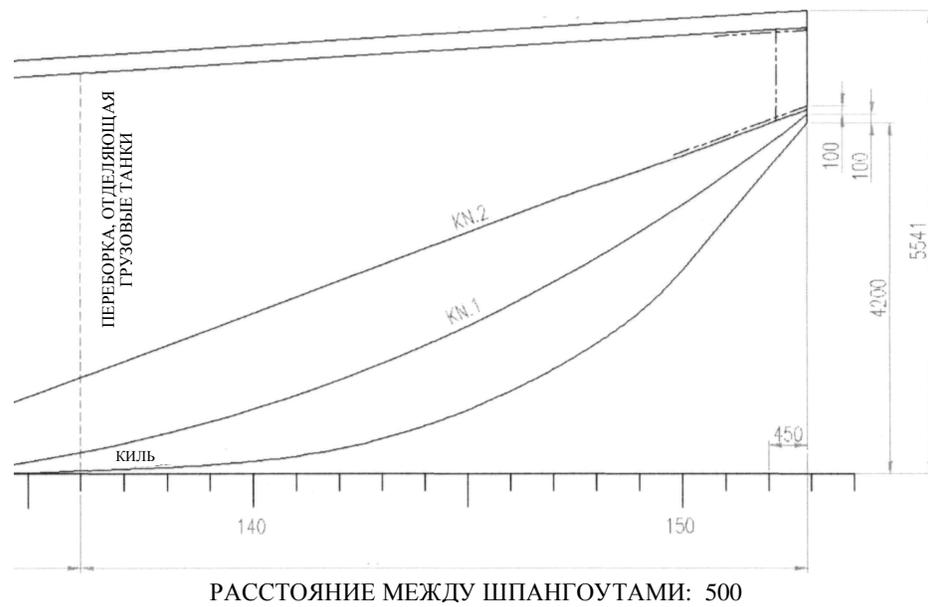
Скорость столкновения 10 м/с является расчетным значением, используемым только при проведении анализа методом конечных элементов.

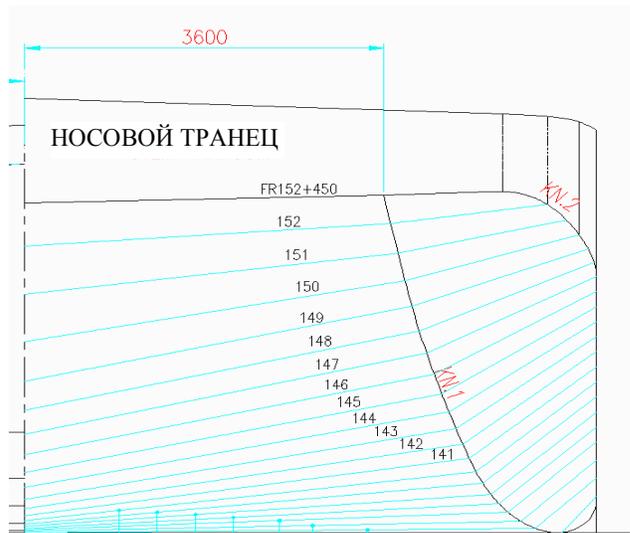
9.3.4.4.7 Чертежи

Нос толкаемой баржи



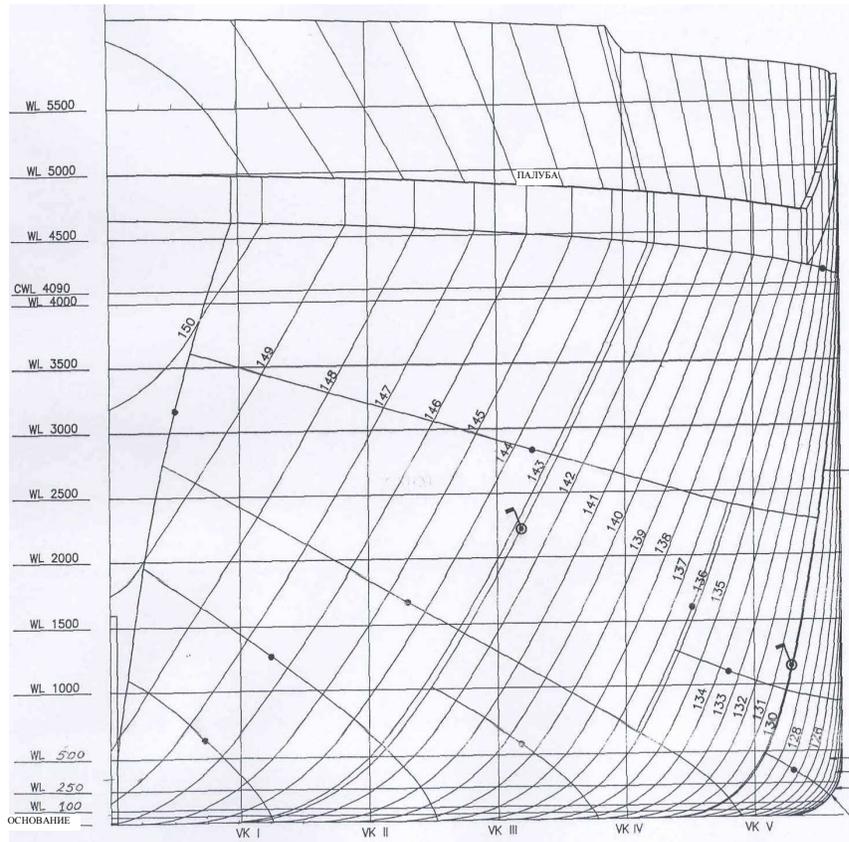
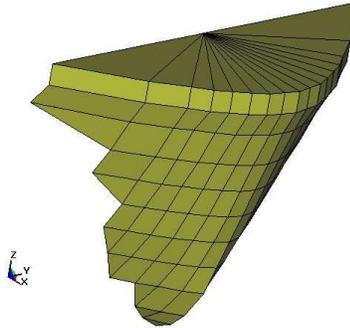
ЛИНИЯ ПАЛУБЫ В ДИАМЕТРАЛЬНОЙ
ПЛОСКОСТИ





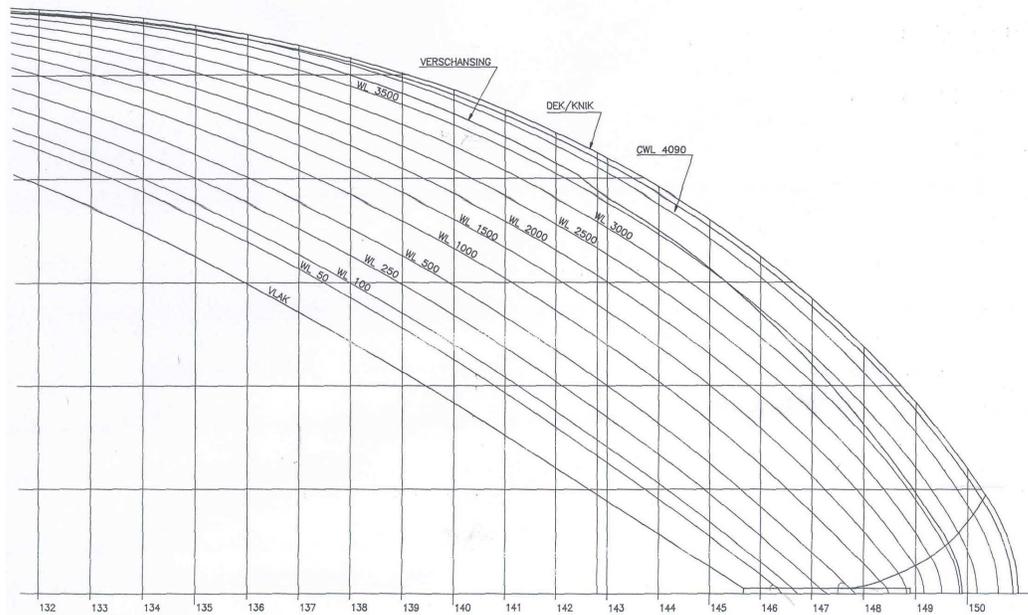
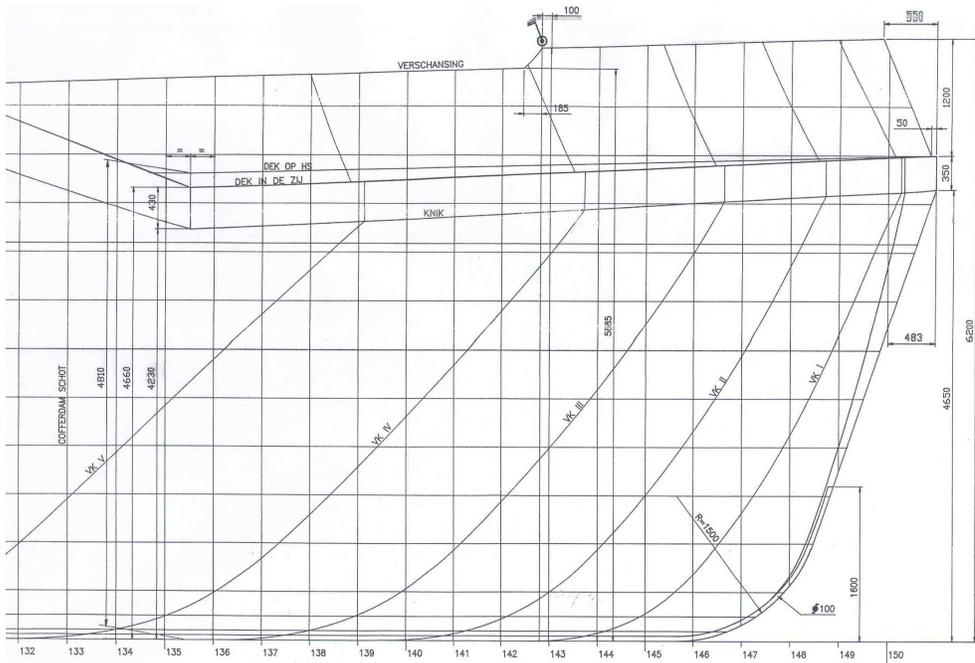
Ширина: 11,50 м

Нос судна с V-образными шпангоутами



Ширина: 11,35 м

Расстояние между шпангоутами: 500 мм



Расстояние между батоксами: 1000 мм"

