



## 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)  
(Комитет по вопросам безопасности ВОПОГ)

#### Сорок третья сессия

Женева, 22–26 января 2024 года

Пункт 5 b) предварительной повестки дня

**Предложения о внесении поправок в Правила,  
прилагаемые к ВОПОГ: другие предложения**

## Предлагаемые изменения в разделе 9.3.4 ВОПОГ

### Передано Рекомендованными классификационными обществами ВОПОГ\* \*\*

#### Введение

1. На сорок первом совещании Комитета по вопросам безопасности ВОПОГ Нидерландская организация прикладных научных исследований (ТНО) представила обзор результатов исследования по обновлению раздела 9.3.4 ВОПОГ. Данное исследование было проведено с учетом изменившихся условий на внутренних водных путях в отношении имеющих значения энергии столкновения.
2. Кроме того, в этом исследовании рассматривалась возможность увеличения максимального объема грузовых танков до уровня более 1000 м<sup>3</sup>. Был сделан вывод о том, что для определенных грузов это может оказаться приемлемым вариантом. Вместо с тем данный вопрос требует дальнейшего изучения.
3. В этом же исследовании были изучены статистические данные по энергии столкновения и методы расчета ударопрочности. По обоим вопросам были предложены изменения для внесения в раздел 9.3.4 ВОПОГ в долгосрочном и краткосрочном планах. В настоящем документе приведены все предлагаемые изменения.
4. Доклад с резюме и рекомендациями по результатам этого исследования включен в неофициальный документ INF.2 (TNO-2023-R10366 от 18 мая 2023 года),

\* Распространено на немецком языке Центральной комиссией судоходства по Рейну под условным обозначением CCNR-ZKR/ADN/WP.15/AC.2/2024/11.

\*\* A/78/6 (разд. 20), таблица 20.5.



а также в справочный документ по статистике энергии столкновения (TNO-2022-R12238 от 9 декабря 2022 года).

## Предлагаемые изменения

5. Пункт 9.3.4.1.1 — Включить следующее предложение:  
«Однако в случае танков, предназначенных только для одного вещества, в отношении которого можно продемонстрировать, что расстояние загрязнения в случае разрыва танка не превысит радиус в 135 м от места вытекания, может оказаться приемлемым использование танков большей вместимости. Метод расчета расстояния загрязнения и допущения, принятые для расчетов, должны быть согласованы с признанным классификационным обществом.»
6. Пункт 9.3.4.3.1.2.2.2 — Изменить следующим образом:  
«Для танкера типа G предполагается три места удара в вертикальном положении: 1) на уровне половины высоты танка, 2) на уровне половины расстояния между стрингерами ниже половины высоты танка и 3) на уровне половины расстояния между стрингерами выше половины высоты танка.»
7. Пункт 9.3.4.3.1.2.4.2 — Вместо «1 x 3 = 3 места удара» вставить «3 x 3 = 9 мест удара.»
8. Пункт 9.3.4.3.1.3.2.2 — Вместо первого предложения вставить следующий текст:  
«Весовой коэффициент для каждого из трех мест удара в вертикальном положении имеет значение 0,333.»  
Второе предложение следует исключить.
9. Пункт 9.3.4.3.1.5.1 — Изменить следующим образом:  
«Для каждого значения способности поглощения энергии при столкновении  $E_{loc(i)}$  необходимо рассчитать соответствующую вероятность превышения. Для этого цели должны использоваться коэффициенты кумулятивных функций плотности вероятностей (КФПВ) из таблиц в пункте 9.3.4.3.1.5.6.»
10. Пункт 9.3.4.3.1.5.6 — Вместо существующих таблиц вставить таблицы и текст, приведенные в приложении.
11. Пункт 9.3.4.4.1.1 — Изменить последнее предложение следующим образом:  
«Такой комплекс должен также позволять осуществлять реалистичное моделирование разрыва, рассчитывать и выводить энергию (пластической) деформации (энергию деформации материала), энергию трения и, в случае танкеров типа G, энергию, рассеиваемую при деформации танка и сжатии жидкости.»
12. Пункт 9.3.4.4.2.4 — Во втором предложении вместо «200» вставить «100».
13. Пункт 9.3.4.4.2.5 — Включить следующее предложение:  
«Элементы оболочки должны иметь не менее 5 точек интеграции по толщине.»
14. Пункт 9.3.4.4.2.6 — Изменить следующим образом:  
«При расчете конечных элементов должен использоваться соответствующий алгоритм контакта, включающий самоконтакт.»

15. Включить новый пункт 9.3.4.4.2.7 следующего содержания:
- «Танкер типа G. Для танкеров типа G внутреннее давление в танке должно быть смоделировано на основе объема сжимаемой жидкости. Соответствующее соотношение давление–объем должно быть рассчитано для полного танка с минимальным незаполненным пространством. Начальное давление должно быть установлено на уровне максимального расчетного давления танка.»**
16. Пункт 9.3.4.4.3.1 — Вместо ~~« $A_g$  — максимальная однородная деформация, связанная с предельным напряжением при растяжении  $R_m$ , и»~~ вставить следующий текст:
- « $R_m$  = предельное напряжение при растяжении [Н/м<sup>2</sup>];»**
- « $A_g$  = однородная деформация [-] при растяжении  $R_m$ .»**
- Кроме того, включить следующее предложение:
- «Зависимость между напряжением и деформацией должна описываться непосредственно законом мощности или эквивалентным представлением, дискретизированным не менее чем 100 единицами данных до достижения пластической деформации, равной 1.»**
17. Пункт 9.3.4.4.3.2 — Включить следующее предложение:
- «Испытания на разрыв должны проводиться в соответствии с правилами, установленными признанным классификационным обществом.»**
18. Пункт 9.3.4.4.3.3 — Вместо первого предложения вставить следующий текст:
- «Если имеется только значение предельного напряжения при растяжении  $R_m$ , для судостроительной стали, имеющей предел текучести не более 355 [Н/мм<sup>2</sup>] может использоваться следующая приближенная формула для получения значения  $A_g$  на основе известного значения предельного напряжения при растяжении  $R_m$  с  $R_m$  в [Н/мм<sup>2</sup>]:»**
- Примечание: Приведенная формула должна оставаться неизменной.
19. Пункт 9.3.4.4.4.1 — Изменить следующим образом:
- «Разрыв элемента при анализе МКЭ определяется значением деформации разрушения. Если рассчитанное значение деформации, т. е. эффективной пластической деформации, основной деформации или деформации в направлении толщины этого элемента, превышает определенное значение деформации разрушения по меньшей мере в половине точек интеграции по толщине, то этот элемент должен быть исключен из модели КЭ. Энергия деформации исключенных элементов более не будет изменяться на последующих этапах расчета.»**
20. Пункт 9.3.4.4.4.2 — Включить следующее предложение:
- «Во избежание исключения элементов, находящихся в состоянии сжатия, разрыв не учитывается для всех состояний напряжения при показателе по трем осям сжатия менее -0,33, т. е. для всех состояний напряжения между равнонаправленным сжатием по двум осям и однонаправленным сжатием.»**
21. Пункт 9.3.4.4.4.6 — Вместо последнего предложения вставить следующий текст:
- «Во избежание исключения элементов, находящихся в состоянии сжатия, разрыв не учитывается для всех состояний напряжения при показателе по трем осям сжатия менее -0,33, т. е. для всех состояний напряжения между равнонаправленным сжатием по двум осям и однонаправленным сжатием.»**

22. Включить новый пункт 9.3.4.4.7 следующего содержания:  
**«Танкер типа G. Признанное классификационное общество может согласиться с другими критериями разрыва танка высокого давления, если будут представлены доказательства, полученные в ходе соответствующих испытаний.»**
23. Пункт 9.3.4.4.5.1 — Вместо «~~DC~~—0,01» вставить «**DC = 10 [с/м]**» и включить «[м/с]» после слов «относительная скорость трения».
24. Пункт 9.3.4.4.5.2 — Вместо «Кривые ~~пробойной~~—силы, полученные в результате...» вставить «**Кривые пробойной энергии...**»
25. Пункт 9.3.4.4.5.3.2 — Включить слова « $V_0$  = объем **пара**» и « $V_1$  = объем **пара**.»
26. Пункт 9.3.4.4.6.2 — Второе предложение изменить следующим образом: «Лишь для отдельных ситуаций, когда судно, подвергшееся удару, имеет ~~чрезвычайно прочные~~ **исключительно жесткие** бортовые конструкции...»

## Приложение

### Таблицы КФПВ для использования в пункте 9.3.4.3.1.5.6

1. Значение вероятности для энергии столкновения между указанными значениями энергии получают путем линейной интерполяции или путем выбора вероятности для следующего по величине указанного значения энергии.
2. Значение вероятности для энергии столкновения между указанными значениями эффективной массы получают путем линейной интерполяции или путем выбора функции плотности вероятностей для следующего по величине указанного значения эффективной массы.

Таблица В.1

#### Кумулятивные функции плотности вероятностей для энергии столкновения

Энергия _МДж	Эффективная масса судна, подвергшегося удару											
	1 500 т				2 000 т				2 500 т			
	30 % V <sub>max</sub>	50 % V <sub>max</sub>	66 % V <sub>max</sub>	100 % V <sub>max</sub>	30 % V <sub>max</sub>	50 % V <sub>max</sub>	66 % V <sub>max</sub>	100 % V <sub>max</sub>	30 % V <sub>max</sub>	50 % V <sub>max</sub>	66 % V <sub>max</sub>	100 % V <sub>max</sub>
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,792	0,999	1,000	1,000	0,944	0,999	1,000	1,000	0,962	0,999	1,000	1,000
4	0,000	0,630	0,988	0,999	0,000	0,893	0,993	0,999	0,000	0,948	0,995	1,000
6		0,000	0,712	0,999		0,060	0,928	0,999		0,292	0,957	0,999
8			0,170	0,988		0,000	0,417	0,991		0,000	0,637	0,995
10			0,000	0,972			0,044	0,983			0,253	0,986
12				0,809			0,000	0,946			0,000	0,968
14				0,481				0,805				0,910
16				0,276				0,530				0,795
18				0,042				0,352				0,552
20				0,000				0,205				0,373
22								0,000				0,236
24												0,060
26												0,000

3. Значение вероятности для энергии столкновения между указанными значениями энергии получают путем линейной интерполяции или путем выбора вероятности для следующего по величине указанного значения энергии.

4. Значение вероятности для энергии столкновения между указанными значениями эффективной массы получают путем линейной интерполяции или путем выбора функции плотности вероятностей для следующего по величине указанного значения эффективной массы.

Энергия _МДж	Эффективная масса судна, подвергшегося удару											
	3 000 т				3 500 т				4 000 т			
	30 % V <sub>max</sub>	50 % V <sub>max</sub>	66 % V <sub>max</sub>	100 % V <sub>max</sub>	30 % V <sub>max</sub>	50 % V <sub>max</sub>	66 % V <sub>max</sub>	100 % V <sub>max</sub>	30 % V <sub>max</sub>	50 % V <sub>max</sub>	66 % V <sub>max</sub>	100 % V <sub>max</sub>
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,979	0,999	1,000	1,000	0,981	0,999	1,000	1,000	0,982	0,999	1,000	1,000
4	0,000	0,961	0,996	1,000	0,000	0,969	0,997	1,000	0,000	0,976	0,998	1,000
6		0,447	0,969	0,999		0,574	0,980	0,999		0,652	0,981	0,999
8		0,000	0,812	0,995		0,058	0,851	0,996		0,189	0,887	0,997
10			0,412	0,986		0,000	0,514	0,988		0,000	0,610	0,988
12			0,063	0,979			0,238	0,981			0,316	0,982
14			0,000	0,942			0,000	0,954			0,058	0,958
16				0,850				0,910			0,000	0,920
18				0,683				0,824				0,842
20				0,530				0,643				0,701
22				0,355				0,500				0,590
24				0,249				0,338				0,466
26				0,070				0,240				0,330
28				0,041				0,070				0,232
30				0,000				0,044				0,065
32								0,000				0,044
34												0,000

5. Значение вероятности для энергии столкновения между указанными значениями энергии получают путем линейной интерполяции или путем выбора вероятности для следующего по величине указанного значения энергии.

6. Значение вероятности для энергии столкновения между указанными значениями эффективной массы получают путем линейной интерполяции или путем выбора функции плотности вероятностей для следующего по величине указанного значения эффективной массы.

Энергия _МДж	Эффективная масса судна, подвергшегося удару											
	5 000 т				8 000 т				10 000 т			
	30 % V <sub>max</sub>	50 % V <sub>max</sub>	66 % V <sub>max</sub>	100 % V <sub>max</sub>	30 % V <sub>max</sub>	50 % V <sub>max</sub>	66 % V <sub>max</sub>	100 % V <sub>max</sub>	30 % V <sub>max</sub>	50 % V <sub>max</sub>	66 % V <sub>max</sub>	100 % V <sub>max</sub>
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,983	0,999	1,000	1,000	0,984	0,999	1,000	1,000	0,985	0,999	1,000	1,000
4	0,068	0,981	0,998	1,000	0,325	0,983	0,999	1,000	0,400	0,983	0,999	1,000
6	0,000	0,723	0,982	0,999	0,000	0,859	0,983	0,999	0,000	0,874	0,984	0,999
8		0,317	0,919	0,998		0,532	0,947	0,999		0,589	0,949	0,999
10		0,000	0,703	0,989		0,241	0,853	0,991		0,324	0,861	0,991
12			0,471	0,983		0,041	0,640	0,985		0,081	0,691	0,985
14			0,247	0,964		0,000	0,440	0,980		0,000	0,532	0,981
16			0,044	0,944			0,301	0,958			0,361	0,959
18			0,000	0,889			0,095	0,926			0,245	0,930
20				0,818			0,043	0,875			0,089	0,897
22				0,683			0,000	0,828			0,040	0,858
24				0,575				0,721			0,000	0,738
26				0,489				0,652				0,692
28				0,356				0,576				0,612
30				0,276				0,496				0,563
32				0,212				0,402				0,464
34				0,069				0,329				0,407
36				0,042				0,281				0,346
38				0,000				0,219				0,290
40								0,095				0,245
42								0,080				0,112
44								0,043				0,091
46								0,017				0,077
48								0,000				0,042
50												0,039
52												0,014
54												0,000

7. Значение вероятности для энергии столкновения между указанными значениями энергии получают путем линейной интерполяции или путем выбора вероятности для следующего по величине указанного значения энергии.

8. Значение вероятности для энергии столкновения между указанными значениями эффективной массы получают путем линейной интерполяции или путем выбора функции плотности вероятностей для следующего по величине указанного значения эффективной массы.

Энергия _МДж	Эффективная масса судна, подвергшегося удару							
	12 000 т				14 000 т			
	30 % V <sub>max</sub>	50 % V <sub>max</sub>	66 % V <sub>max</sub>	100 % V <sub>max</sub>	30 % V <sub>max</sub>	50 % V <sub>max</sub>	66 % V <sub>max</sub>	100 % V <sub>max</sub>
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,985	0,999	1,000	1,000	0,986	0,999	1,000	1,000
4	0,436	0,983	0,999	1,000	0,458	0,983	0,999	1,000
6	0,035	0,876	0,984	0,999	0,037	0,880	0,984	0,999
8	0,000	0,611	0,956	0,999	0,000	0,650	0,956	0,999
10		0,363	0,874	0,993		0,393	0,875	0,993
12		0,107	0,706	0,986		0,134	0,726	0,986
14		0,039	0,571	0,981		0,042	0,592	0,981
16		0,000	0,409	0,962		0,034	0,440	0,963
18			0,291	0,947		0,000	0,330	0,948
20			0,109	0,921			0,138	0,923
22			0,076	0,865			0,089	0,874
24			0,038	0,821			0,041	0,835
26			0,000	0,711			0,035	0,732
28				0,660			0,000	0,676
30				0,591				0,609
32				0,535				0,553
34				0,444				0,474
36				0,388				0,423
38				0,341				0,376
40				0,291				0,330
42				0,244				0,267
44				0,123				0,242
46				0,103				0,126
48				0,080				0,102
50				0,043				0,079
52				0,040				0,044
54				0,037				0,041
56				0,035				0,039
58				0,000				0,036
60								0,034
62								0,000