



**ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
И СОЦИАЛЬНЫЙ СОВЕТ**

Distr.  
GENERAL

TRANS/WP.15/2000/10  
6 March 2000

RUSSIAN  
Original: ENGLISH

ЕВРОПЕЙСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

КОМИТЕТ ПО ВНУТРЕННЕМУ ТРАНСПОРТУ

Рабочая группа по перевозкам опасных грузов

(Шестьдесят восьмая сессия, пункт 4 а) повестки дня  
Женева, 15-19 мая 2000 года)

Предложение о внесении поправок в приложения А и В к ДОПОГ

Формула расчета адекватной минимальной толщины стенок,  
обеспечивающей эквивалентную защиту

Маргинальный номер 21х 127 (3) и (4) ДОПОГ

Представлено правительством Германии

**Введение**

Этот вопрос обсуждался в ходе нескольких сессий Рабочей группы WP.15, совещаний рабочих групп и специальных рабочих групп, и резюме обсуждения было представлено Германией на шестьдесят шестой сессии Рабочей группы WP.15. Ввиду расхождения интересов участников различных совещаний окончательная договоренность по этому вопросу до настоящего времени не достигнута. Поэтому на шестьдесят шестой сессии Германия сообщила о своем намерении представить официальное предложение по

данному вопросу на шестьдесят седьмой сессии, с тем чтобы провести заключительное обсуждение и принять окончательное решение по изменению существующего текста маргинального номера 21х 127 (3) и (4).

Предложение, представленное в документе TRANS/WP.15/1999/49, подробно обсуждалось на шестьдесят седьмой сессии, однако из-за содержащегося в нем сложного и громоздкого обоснования к единому мнению прийти не удалось. Поэтому было решено обсудить это предложение на совещании вновь созданной Рабочей группы по цистернам (в ее состав входят специалисты из заинтересованных стран). Это совещание было проведено 11 и 12 января 2000 года в Берлине (подробную информацию см. в документе TRANS/WP.15/2000/4).

После серьезного и продолжительного обсуждения большинство участников совещания высказались не только за замену нынешней формулы кубического корня формулой расчета минимальной толщины стенок, обеспечивающей эквивалентную защиту (уже предложенной в документе TRANS/WP.15/1999/49), но и за сокращение до необходимого объема чрезмерно подробного обоснования, изложенного в этом документе, с тем чтобы можно было принять решение по этому вопросу в ходе шестьдесят восьмой сессии Рабочей группы WP.15.

Таким образом, само предложение приводится в том же виде, что и в документе TRANS/WP.15/1999/49, и лишь обоснование было изменено в свете результатов работы упомянутого выше совещания Рабочей группы по цистернам.

### **Предложение**

1. Заменить последнее предложение в каждом из перечисленных ниже маргинальных номеров ДОПОГ, а именно

211 127 (3)

211 127 (4)

212 127 (3)

212 127 (4),

следующим текстом:

Под "эквивалентной толщиной" подразумевается толщина, определяемая по следующей формуле:

$$e_1 = \frac{456 \cdot e_0}{\sqrt[3]{(R_{m1} \cdot A_1)^2}} \quad \underline{4/}$$

2. Заменить сноску 4/, относящуюся к вышеупомянутым маргинальным номерам, следующей сноской:

4/ Эта формула вытекает из общей формулы:

$$e_1 = e_0 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1}\right)^2},$$

где:

$R_{m0} = 360$ ;

$A_0 = 27$  для исходной мягкой стали;

$R_{m1} =$  минимальная прочность используемого металла на разрыв, в Н/мм<sup>2</sup>; и

$A_1 =$  минимальное удлинение используемого материала при разрывной нагрузке, в %.

3. Вытекающая из вышеуказанных изменений поправка к маргинальным номерам 211 125 (1) и 212 125 (1):

Четвертый абзац вышеупомянутых маргинальных номеров (начинающийся со слов: "В случае использования аустенитных сталей...") дополнить следующим предложением:

"Эти указанные минимальные величины не должны превышать при использовании формул, предусмотренных в маргинальном номере 211 127 (3) и (4) [212 127 (3) и (4)]".

4. Вытекающая из вышеуказанных изменений поправка к маргинальному номеру 211 188:

Изменить формулировку маргинального номера 211 188 следующим образом:

"Встроенные цистерны (автоцистерны), съемные цистерны и транспортные средства-батареи, изготовленные до даты вступления в силу положений, применяемых с [1 января 2001 года], и не отвечающие этим положениям, но изготовленные в соответствии с положениями ДОПОГ, действовавшими до этой даты, могут по-прежнему эксплуатироваться".

5. Вытекающая из вышеуказанных изменений поправка к маргинальному номеру 212 182:

Изменить формулировку маргинального номера 212 182 следующим образом:

"Контейнеры-цистерны, изготовленные до вступления в силу положений, применяемых с [1 января 2001 года], и не отвечающие этим положениям, но изготовленные в соответствии с предписаниями ДОПОГ, действовавшими до этой даты, могут по-прежнему эксплуатироваться".

### **Обоснование**

Расчет минимальной толщины стенок в соответствии с предписаниями маргинального номера 21х 127 (2) дает для мягкой стали значения испытательного и расчетного давлений от 4 до 10 бар и толщины стенок – от 3 до 5 мм и более. Однако при этом должен обеспечиваться достаточный уровень сопротивляемости цистерн воздействию внутренних и внешних (случайных) нагрузок. Этого можно будет достичь путем соблюдения предписаний существующих пунктов (3) и (4) маргинального номера 21х 127, соответственно, рассчитывая абсолютную минимальную толщину стенок, изготовленных из мягкой стали, следующим образом (например, согласно пункту (3) маргинального номера 21х 127):

"Стенки, днища и крышки корпусов с круглым поперечным сечением диаметром не более 1,80 м должны иметь толщину не менее 5 мм, если они изготовлены из мягкой стали, или эквивалентную толщину, если они изготовлены из другого металла. В случае, если диаметр превышает 1,80 м, эта толщина должна быть увеличена до 6 мм, если корпус изготовлен из мягкой стали, за исключением цистерн, предназначенных для перевозки порошкообразных или гранулированных веществ, или до эквивалентной толщины, если он изготовлен из другого металла. Под "эквивалентной толщиной" подразумевается толщина, определяемая по следующей формуле:

$$e_1 = \frac{21,4 \cdot e_0}{\sqrt[3]{R_{ml} \cdot A_1}} \text{ "}$$

Эти предписания определяют необходимые уровни безопасности корпусов цистерн (т.е. не полностью оборудованных цистерн), предусматривая определенное сочетание материала и толщины стенок: при использовании мягкой стали с конкретными свойствами (исходной стали) толщина стенок составляет 6, 5, 4 или 3 мм в зависимости от диаметра корпуса цистерны, перевозимых веществ (жидкость/порошок или гранулы) и используемой дополнительной защиты.

В отношении цистерн, изготовленных из других металлов, кроме исходной стали, до настоящего времени требовалось применять упомянутую выше формулу кубического корня. Однако эта формула не соответствует законам механики: она не обеспечивает адекватную защиту цистерны от внутренних или внешних нагрузок, что приводит к пластической деформации или излому корпуса.

Уровень безопасности корпуса цистерны определяется только на основе сопоставления:

- определенных свойств исходной стали и значения базовой толщины стенок;
- определенных свойств материала, обуславливающих другие значения толщины стенок, отличные от базового, если используется другой металл;

на основе неизменного значения разрывной силы.

В каждом случае свойства материала (т.е. также различных металлов) будут определяться путем проведения стандартного однонаправленного испытания на растяжение. Таким образом, формула расчета адекватной минимальной толщины стенок, обеспечивающей эквивалентную защиту, также должна разрабатываться на основе стандартного однонаправленного испытания на растяжение.

При проведении однонаправленного испытания на растяжение на образце определенных размеров выстраиваются кривая зависимости удлинения от напряжения и соответственно кривая зависимости деформации от напряжения вплоть до разрыва. Значение разрывного усилия соответствует участку шкалы, находящемуся под этими кривыми. Если величина прилагаемого разрывного усилия одинакова, то производится сопоставление образцов, изготовленных из различных металлов.

Необходимые эквивалентные размеры (например, толщина стенки) образца из другого металла могут рассчитываться на основе размеров (например, толщины стенки) образца из исходной стали, если прилагается равное по величине разрывное усилие и если известны свойства материала, из которого изготовлен образец.

Следовательно, можно вывести предлагаемую формулу расчета адекватной минимальной толщины стенок, обеспечивающей эквивалентную защиту. Подробности выведения предлагаемой формулы уже были изложены в документе TRANS/WP.15/1999/49; для полноты картины они включены в приложение к настоящему переработанному документу.

### **Дополнительные замечания**

Замена одного материала (исходная сталь) на другой материал, который в ходе однонаправленного испытания на растяжение способен выдержать аналогичную нагрузку деформации (т.е. при использовании альтернативной формулы), влечет за собой:

- более высокие значения минимальной толщины стенок, если используются обычные алюминиевые сплавы;
- более низкие значения минимальной толщины стенок, если используются аустенитные стали.

Однако корпуса цистерн с минимальной толщиной стенок, изготовленные из современных алюминиевых сплавов, будут иметь такую же массу, что и цистерны, находящиеся в настоящее время в эксплуатации. Таким образом, даже с экономической точки зрения нет никаких серьезных аргументов против применения альтернативной формулы расчета адекватной минимальной толщины стенок.

С другой стороны, применение альтернативной формулы обеспечит более высокий уровень безопасности цистерн из алюминиевых сплавов.

Результаты применения предлагаемой альтернативной формулы расчета минимальной толщины стенок показаны в таблицах 1 и 2.

При использовании альтернативной формулы свойства каждого материала правильно и тщательно оцениваются. Следовательно, специальное предписание в отношении аустенитных сталей, содержащееся в маргинальном номере 21x 125 (1),

согласно которому в случае использования аустенитных сталей минимальные значения, установленные в стандарте на материал, могут быть превышены не более чем на 15%, не подходит для пунктов (3) и (4) будущего маргинального номера 21x 127.

Дальнейшие подробности, связанные с принципом выведения альтернативной формулы и результатами предыдущих обсуждений, содержатся в документах TRANS/WP.15/R.433 и INF.32 (шестьдесят вторая сессия), INF.13 (шестьдесят шестая сессия) и TRANS/WP.15/1999/48 и -/49 (шестьдесят седьмая сессия).

## Приложение

### Выведение формулы расчета адекватной минимальной толщины стенок, обеспечивающей эквивалентную защиту (альтернативной формулы)

В том случае, если для испытания на растяжение берется пропорционально короткой образец, постоянное относительное удлинение при разрыве измеряется на образце (испытательном образце) круглого сечения, длина базы измерения  $l$  которого должна в пять раз превышать диаметр  $d$ ; если используются испытательные образцы прямоугольного сечения, что является обычной практикой при определении свойств листового металла, длина базы измерения рассчитывается по формуле:

$$l = 5,65 \cdot \sqrt{F_0} \quad (1),$$

где  $F_0$  - первоначальная площадь сечения испытательного образца (см. также сноску 1 к маргинальному номеру 21x125). Объем  $V$  образца цилиндрической и призматической формы должен быть одинаковым. Поэтому (см. рис.1):

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot l = F_0 \cdot l = b \cdot e \cdot l \quad (2)$$

$$\text{и} \quad d = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \cdot \sqrt{b \cdot e}$$

где  $l = 5 \cdot d$ , откуда выводится следующая формула:

$$l = 5 \cdot \sqrt{\frac{4}{\pi}} \cdot \sqrt{b \cdot e} = 5,65 \cdot \sqrt{b \cdot e} \quad (3)$$

Деформационные свойства образца (деформация по отношению к энергопоглощающей способности) можно представить с помощью следующей формулы:

$$\Delta W = V \cdot \int_0^{\epsilon} \sigma d\epsilon \quad (4),$$

Если металл обладает оптимальными свойствами упругопластичности (см. рис. 2), то уравнение (4) можно преобразовать в следующее:

$$W = V \cdot R_m \cdot A \quad (5),$$

где:

$V$  = объем образца

$R_m$  = прочность на растяжение

$A$  = относительное удлинение при разрыве под воздействием растягивающего напряжения.

В случае использования металла, способного выдержать аналогичный объем работы деформации (деформирующей энергии), как и базовый металл, уравнение (5) необходимо преобразовать следующим образом:

$$W = V \cdot R_m \cdot A = \text{постоян.}$$

$$W = V_0 \cdot R_{m0} \cdot A_0 = V_1 \cdot R_{m1} \cdot A_1 \quad (6),$$

Где:

Показатель 0 = исходный металл (сталь)

Показатель 1 = выбранный металл.

В качестве следующего шага уравнении (2) и (3) вводятся в уравнение (6) в соответствии с нижеуказанной формулой:

$$W = R_{m0} \cdot A_0 \cdot V_0 = R_{m1} \cdot A_1 \cdot V_1$$

$$= R_{m0} \cdot A_0 \cdot b_0 \cdot e_0 \cdot 5,65 \cdot \sqrt{b_0 \cdot e_0} = R_{m1} \cdot A_1 \cdot b_1 \cdot e_1 \cdot 5,65 \cdot \sqrt{b_1 \cdot e_1}$$



где  $b_0 = b_1 = \text{постоян.}$  (как и для практически используемых корпусов цистерн данного диаметра, что позволяет получить следующую формулу:

$$R_{m0} \cdot A_0 \cdot \sqrt{e_0^3} = R_{m1} \cdot A_1 \cdot \sqrt{e_1^3}$$

$$\sqrt{e_1^3} = \sqrt{e_0^3} \frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1}$$

$$e_1^3 = e_0^3 \left( \frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1} \right)^2$$

$$e_1^3 = e_0^3 \sqrt{\left( \frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1} \right)^2} \quad (7)$$

Таким образом, выведение альтернативной формулы полностью завершено.

Заключительное замечание:

Хотя на практике металлы не демонстрируют оптимальные свойства упругопластичности, применение уравнения (5) вполне оправдано, поскольку отношение площади поверхности к нагрузке (площадь под полученной на практике кривой зависимости деформаций от напряжения ( $F_1$ ), разделенная на площадь под идеальной кривой упругопластичности ( $F_0$ ) для каждого металла практически во всех случаях одинаково (0,89-0,91). Таким образом, в пределах 2-3% результаты расчета толщины стенок в соответствии с альтернативной формулой (уравнение 7) показывают незначительное отклонение от реальных отношений площади к нагрузкам. При этом данное замечание актуально также при применении существующей формулы кубического корня.

Материал/Толщина стенки		Исходная мягкая сталь	Al Mg 4,5 Mn	Алюминиевый сплав 5186 ("Пешине")	Аустенитная сталь (1,4541)	Мелкозернистая сталь (St E 460)
Формула						
Формула кубического корня	$e_1 = e_0 \sqrt[3]{\frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1}}$	4,0	5,12	4,6	3,0 (2,9)	4,0
Альтернативная формула	$e_1 = e_0 \sqrt[3]{\left(\frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1}\right)^2}$	4,0	6,5	5,2	2,2	4,1
Формула кубического корня	$e_1 = e_0 \sqrt[3]{\frac{R_{m0} \cdot A_1}{R_{m1} \cdot A_1}}$	6,0	7,7	6,8	4,5 (4,3)	6,1
Альтернативная формула	$e_1 = e_0 \sqrt[3]{\left(\frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1}\right)^2}$	6,0	9,8	7,8	3,4	6,1
<p>Таблица 1. Требуемая толщина стенки <math>e_1</math> [в мм] при <math>e_0 = 4</math> или <math>6</math> мм для исходной мягкой стали (<math>R_{m0} = 360</math> Н/мм<sup>2</sup> и <math>A_0 = 27\%</math>) в зависимости от материала, из которого изготовлена цистерна</p>						

Материал / Свойство	Исходная мягкая сталь	Al Mg 4,5 Mn	Алюминиевый сплав 5186 ("Пешине")	Аустенитная сталь (1,4541)	Мелкозернистая сталь (St E 460)
$R_{m0}$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	360	-	-	-	-
$A_0$ [%]	27	-	-	-	-
$R_{m1}$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	-	275	275	540	560
$A_1$ [%]	-	17	24	43	17
$R_{m0} \cdot A_0$	9 720	-	-	-	-
$R_{m1} \cdot A_1$ ( $(R_{m1} \cdot A_1)+15\%$ )	-	4 675	6 600	23 220 (26 700)	9 520

**Таблица 2. Свойства материалов, которые наиболее часто используются для изготовления цистерн**

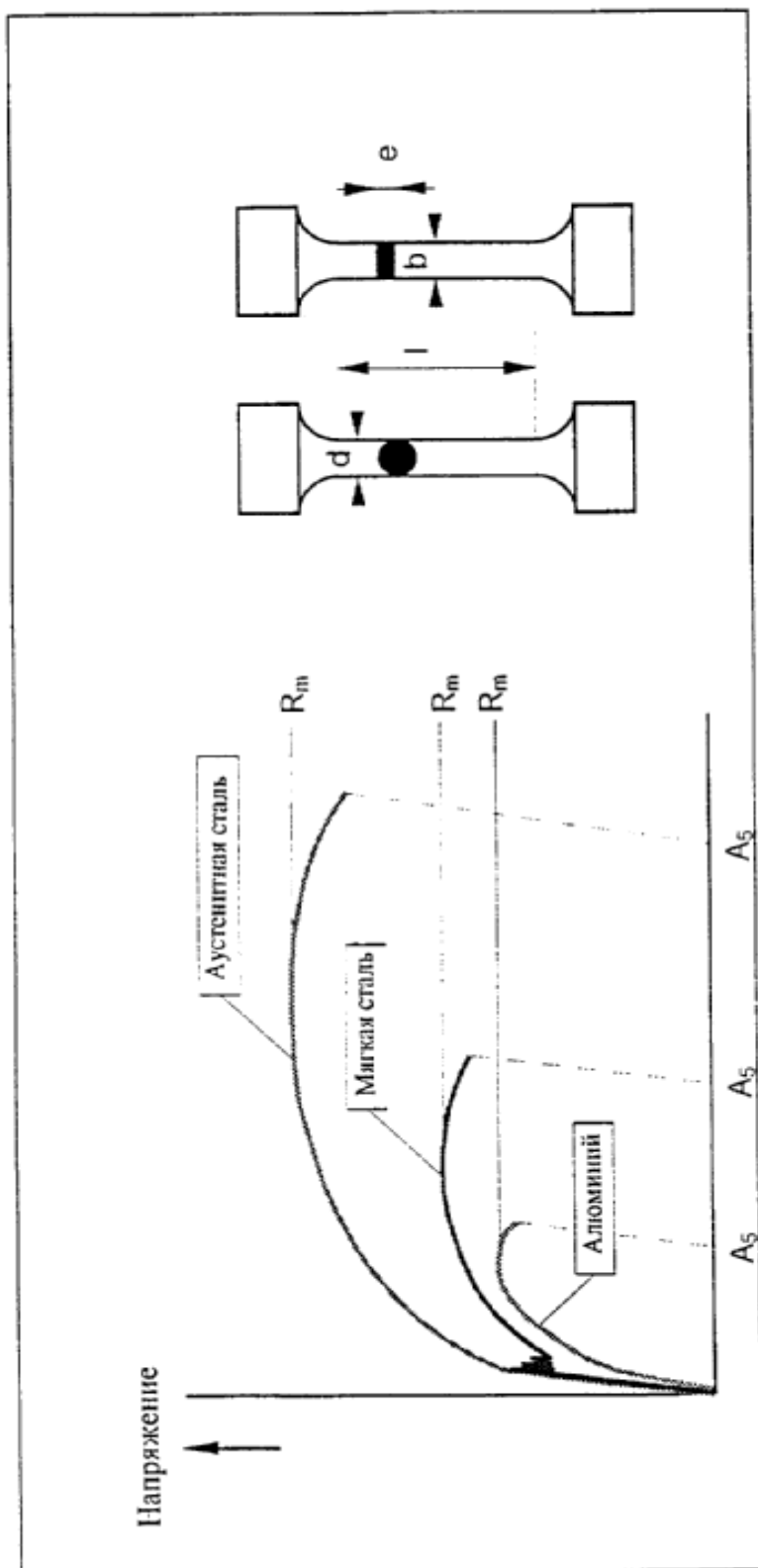


Рисунок 1: Диаграмма зависимости деформации от напряжений для обычных материалов, из которых изготавливаются цистерны (схематическое изображение)

