



ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
И СОЦИАЛЬНЫЙ СОВЕТ

Distr.
GENERAL

TRANS/WP.15/AC.1/2001/3
16 February 2001

RUSSIAN
Original: FRENCH

ЕВРОПЕЙСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

КОМИТЕТ ПО ВНУТРЕННЕМУ ТРАНСПОРТУ

Рабочая группа по перевозкам опасных грузов

Совместное совещание Комиссии МПОГ
по вопросам безопасности и Рабочей группы
по перевозкам опасных грузов
(Берн, 28 мая - 1 июня 2001 года)

ГЛАВА 6.8

**ФОРМУЛА РАСЧЕТА АДЕКВАТНОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ МИНИМАЛЬНОЙ
ТОЛЩИНЫ СТЕНОК КОНТЕЙНЕРОВ-ЦИСТЕРН**

Представлено правительством Германии*

Секретариат получил от Центрального бюро международных железнодорожных перевозок (ЦБМЖП) предложение, которое воспроизводится ниже.

* Распространено Центральным бюро международных железнодорожных перевозок (ЦБМЖП) в качестве документа ОСТI/RID/GT-III/2001/3.

ВВЕДЕНИЕ

Этот вопрос, касающийся замены признанной недостаточной оптимальной формулы расчета эквивалентной толщины стенок (формулы кубического корня), которая содержится в существующих добавлениях В.1а и В.1b ДОПОГ (маргинальные номера 21х 127 (3) и (4)) и соответственно в существующих добавлениях X и XI МПОГ, (маргинальные номера 1.2.8.3 и 1.2.8.4), альтернативной формулой расчета адекватной эквивалентной толщины, отвечающей законам механики, подробно рассматривался в ходе нескольких сессий Рабочей группы по перевозкам опасных грузов (WP.15) и на совещаниях рабочих групп и специальной группы, созывавшихся Рабочей группой WP.15. Резюме обсуждений и их результаты были представлены Германией на шестьдесят шестой сессии Рабочей группы WP.15. Поскольку до сих пор интересы участников различных совещаний не совпадали в этом вопросе, Германия представила в документе TRANS/WP.15/1999/49 предложение, которое было подробно обсуждено на шестьдесят седьмой сессии. Однако к единому мнению прийти не удалось, в частности из-за сложного и громоздкого обоснования этого предложения. Поэтому Рабочая группа WP.15 решила вновь созвать совещание рабочей группы по цистернам, в котором должны были принять участие эксперты заинтересованных стран. Совещание этой рабочей группы состоялось в Берлине 11 и 12 января 2000 года. Доклад о работе этого совещания содержится в документе TRANS/WP.15/1999/51.

После глубокого и подробного обсуждения большинство участников совещания высказались за то, чтобы заменить существующую формулу кубического корня предложенной (альтернативной) формулой расчета адекватной эквивалентной толщины (см. документ TRANS/WP.15/1999/49), однако нынешнее обстоятельное и подробное обоснование следовало свести к абсолютно необходимому объему, с тем чтобы можно было принять решение по этому предложению в ходе шестьдесят восьмой сессии рабочей группы WP.15. В соответствии с рекомендацией Рабочей группы Германия подготовила пересмотренный документ, в котором само предложение приводится в том же виде, однако обоснование изменено с учетом обсуждений, состоявшихся на совещании рабочей группы (см. документ TRANS/WP.15/2000/10). Пересмотренный документ вновь был подробно обсужден в ходе шестьдесят восьмой сессии Рабочей группы WP.15 специальной рабочей группой в составе экспертов и представлен Рабочей группе WP.15 в качестве рекомендации для утверждения.

Эта рекомендация была принята Рабочей группой WP.15 большинством голосов. В силу причин, обусловленных сферой компетенции, данное решение могло применяться только к требованиям в отношении автоцистерн, съемных цистерн и транспортных средств-батарей, а также к нынешнему приложению В.1а ДОПОГ, поскольку правила

добавления В.1b (контейнеры-цистерны), согласованные с предписаниями добавления Х МПОГ, должны обсуждаться и утверждаться Совместным совещанием. Предложение Германии было также адаптировано к варианту ДОПОГ с измененной структурой и, кроме того, подвергнуто редакционной правке; в рамках ДОПОГ с измененной структурой оно дополнит/заменит в левой колонке соответствующие предписания в отношении автоцистерн. В практическом плане, что касается формулы (альтернативной) расчета адекватной эквивалентной толщины, в предписания, касающиеся контейнеров-цистерн, не требуется вносить какие-либо изменения по сравнению с предписаниями в отношении автоцистерн, принятыми Рабочей группой WP.15. Поэтому в настоящее время предлагается включить эту формулу (альтернативную) расчета адекватной эквивалентной толщины в предписания МПОГ/ДОПОГ, касающиеся контейнеров-цистерн.

Предложение

1. Заменить существующую формулу в "новом" пункте 6.8.2.1.18 следующей формулой:

$$e_1 = \frac{464 \cdot e_0}{\sqrt[3]{(Rm_1 \cdot A_1)^2}}$$

2. Заменить существующую формулу, приведенную в сноске 4/3 в "новом" пункте 6.8.2.1.18, следующей формулой:

$$e_1 = e_0 \sqrt[3]{\left(\frac{Rm_0 \cdot A_0}{Rm_1 \cdot A_1}\right)^2}$$

3. Дополнить правую колонку в "новом" пункте 6.8.2.1.19 согласно документу INF.24, представленному на Совместном совещании МПОГ/ДОПОГ 13-24 марта 2000 года, третьим подпунктом следующего содержания:

"Толщина стенок, днищ и крышек цистерн, имеющих защиту от повреждений в соответствии с пунктом 6.8.2.1.20, не должна быть меньше значений, указанных в приведенной ниже таблице".

4. Таблица, приведенная в конце "нового" пункта 6.8.2.1.19 согласно документу INF.24, представленному на Совместном совещании МПОГ/ДОПОГ 13-24 марта 2000 года, применяется к обеим колонкам (таким образом, ее следует расположить по всей ширине страницы).

5. Дополнить "новый" пункт 6.8.2.1.16 последним предложением следующего содержания:

"Эти минимальные значения не могут, однако, превышать, если используется формула, приведенная в пункте 6.8.2.1.18".

6. Переходные меры должны быть адаптированы таким образом, чтобы цистерны, изготовленные до настоящего времени, могли по-прежнему использоваться.

Обоснование

В зависимости от

- диаметра цистерны,
- наличия защиты от повреждений, вызываемых ударами сбоку или опрокидыванием,
- перевозимого опасного груза (порошкообразные или гранулированные/жидкие или газообразные опасные грузы),

значения толщины стенок цистерн, требуемые согласно пунктам 6.8.2.1.18 и 19, должны будут отвечать некоторым минимальным требованиям, обусловленным выбором определенного металлического материала (мягкая сталь/стандартная мягкая сталь).

Содержащиеся в вышеуказанных пунктах требования в отношении значений минимальной толщины стенок, равных 3 мм, 4 мм, 5 мм или 6 мм, должны, таким образом, рассматриваться как комбинированные критерии "материал/толщина стенок". Даже в том случае, когда должен использоваться другой металл, а не стандартная мягкая сталь, соответствующее базовое требование (например, увеличение толщины стенок до 6 мм по сравнению со стандартной мягкой сталью) должно выполняться в зависимости от его типа и размера. Поэтому толщина стенок цистерны, изготовленной не из стандартной

мягкой стали, а из другого металла, должна определяться с учетом существенных характеристик материала и стандартной мягкой стали, исходя из требуемого базового значения толщины стенок (например, 6 мм).

Иными словами:

Необходимо сопоставить характеристики стенок цистерн, изготовленных из различных металлических материалов. Если стенка цистерны, толщину которой необходимо определить и которая изготовлена не из стандартной мягкой стали, а из другого металла, обладает такими же существенными характеристиками, что и базовая стенка цистерны (например, толщина составляет 6 мм), которая в свою очередь изготовлена из стандартной мягкой стали, то требования, предусмотренные в пунктах 6.8.2.1.18 и 19, должны быть надлежащим образом выполнены.

Под существенными характеристиками стенок цистерн в том смысле, в каком эти характеристики упоминаются выше, понимается способность деформироваться по отношению к допустимой работе деформации вплоть до разрыва стенок цистерны под воздействием механического напряжения. Эти характеристики могут быть определены таким простым способом, дающим воспроизводимые и сопоставимые результаты, как стандартное однонаправленное испытание на растяжение.

Поглощение энергии/кривые деформации (соответственно кривые зависимости деформации от напряжений), установленные в ходе испытания некоторых металлических материалов на растяжение вплоть до разрыва, позволяют определить допустимую работу деформации на соответствующих образцах путем определения площади под этими кривыми. Образцы из различных металлов являются сопоставимыми, если в ходе испытания на растяжение должна быть произведена одинаковая работа деформации до их разрыва. На основе значений (одинакового уровня) работы (требуемой) деформации, которые рассчитываются исходя из характеристик материалов, таких, как "предел прочности на разрыв при растяжении R_{m0} и удлинение при разрывной нагрузке A_0 " для стандартной мягкой стали, и размеров соответствующих образцов, можно затем определить для известных характеристик материалов, таких, как "минимальный предел прочности на разрыв при растяжении R_{m1} " и "минимальное удлинение при разрывной нагрузке A_1 ", необходимые размеры выбранного металла, например требуемую толщину стенки e_1 цистерны, изготовленной из выбранного металла.

Следуя этим принципам, можно вывести предлагаемую (альтернативную) формулу расчета адекватной эквивалентной минимальной толщины стенок цистерн.

Соответствующие подробные расчеты приведены в приложении к настоящему предложению.

Замечания

Применение требований, предусмотренных в пунктах 6.8.2.1.18 и 19, с использованием предлагаемой (альтернативной) формулы расчета адекватной толщины, исходя из эквивалентных значений работы деформации вплоть до разрыва, в случае использования не стандартной мягкой стали, а другого металла дает:

- более высокие значения минимальной толщины стенок, например при использовании обычных алюминиевых сплавов;
- более низкие значения минимальной толщины стенок, например при использовании аустенитных сталей.

Увеличение толщины стенок в случае использования обычных алюминиевых сплавов приводит к нежелательному увеличению тарной массы цистерн, изготовленных из этих материалов. Однако в случае использования более современных или совершенных алюминиевых сплавов этот недостаток вновь в значительной мере компенсируется, так что даже с чисто экономической точки зрения нет никаких серьезных аргументов против применения предлагаемой (альтернативной) формулы расчета адекватной толщины стенок. Вне зависимости от того, увеличатся ли значения толщины стенок при использовании обычных алюминиевых сплавов или будут приняты используемые в настоящее время значения толщины стенок, примерно такие же, как при использовании более совершенных алюминиевых сплавов, применение (альтернативной) формулы расчета адекватной эквивалентной толщины стенок приведет к весьма заметному повышению уровня безопасности цистерн из алюминиевых сплавов, используемых для перевозки опасных грузов.

В случае установления более низких фиксированных значений минимальной толщины стенок при использовании различных металлов удалось бы предотвратить принятие ошибочных решений в области проблем, связанных с устойчивостью, усталостными характеристиками и т.д.

Результаты применения (альтернативной) формулы расчета адекватной эквивалентной толщины, с точки зрения будущих значений минимальной толщины стенок, показаны в прилагаемых таблицах 1 и 2.

Использование (альтернативной) формулы расчета адекватной толщины стенок позволяет правильно и тщательно оценивать существенные характеристики различных материалов, из которых изготавливаются цистерны. Поэтому предусмотренное в пункте 6.8.2.1.16 специальное исключение для аустенитных сталей, согласно которому в случае использования аустенитных сталей минимальные значения, установленные в стандартах на материалы, могут быть превышены не более чем на 15%, становится неуместным при использовании (альтернативной) формулы расчета адекватной эквивалентной толщины.

Дополнительные подробности, связанные с разработкой и выводением (альтернативной) формулы расчета адекватной эквивалентной толщины отчасти содержатся в уже упоминавшихся документах TRANS/WP.15/R.433 и INF.32 (шестидесят вторая сессия Рабочей группы WP.15), INF.13 (шестидесят шестая сессия Рабочей группы WP.15), TRANS/WP.15/1999/48 и -/49 (шестидесят седьмая сессия Рабочей группы WP.15), а также в документах TRANS/WP.15/2000/4 и -/10 (шестидесят восьмая сессия Рабочей группы WP.15) и докладах указанных сессий.

Приложение

Выведение формулы расчета адекватной эквивалентной минимальной толщины стенок (альтернативной формулы)

В том случае, если для испытания на растяжение берется пропорционально короткий образец, остаточное 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 характеристик 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. пункт 6.8.2.1.12, сноски 1).

Объем V образца цилиндрической и призматической формы должен быть одинаковым. Поэтому (см. рис.1):

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

и

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \cdot \sqrt{b \cdot e} ,$$

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 характеристики образца (работа/энергия деформации или энергопоглощающая способность) 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 = предел прочности на разрыв;

A = удлинение при разрывной нагрузке.

В случае использования металла, способного выдержать аналогичный объем работы деформации (энергии деформации), как и исходный 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 уравнения (2) и (3) вводятся в уравнение (6) следующим образом:

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

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

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

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

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

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

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

Последнее из этих уравнений представляет собой альтернативную формулу.

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.

Формула	Материал Толщина стенки	Стандартная мягкая сталь	Алюминиевый сплав 1 Mg 4,5 Mn	Алюминиевый сплав 5186 ("Пешине")	Аустенитная сталь (1,4541)	Мелкозернистая сталь (St E 460)
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)	4,1
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

Таблица 1. Требуемая толщина стенки e_1 [в мм] при $e_0 = 4$ или 6 мм для стандартной мягкой стали ($R_{m0} = 360 \text{ Н/мм}^2$ и $A_0 = 27\%$) в зависимости от материала, из которого изготовлена цистерна

Материал	Стандартная мягкая сталь	Алюминиевый сплав 1 Mg 4,5 Mn	Алюминиевый сплав 5186 ("Пешине")	Аустенитная сталь (1,4541)	Мелкозернистая сталь (St E 460)
Свойство					
R_{m0} [Н/мм ²]	360	-	-	-	-
A_0 [%]	27	-	-	-	-
R_{m1} [Н/мм ²]	-	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

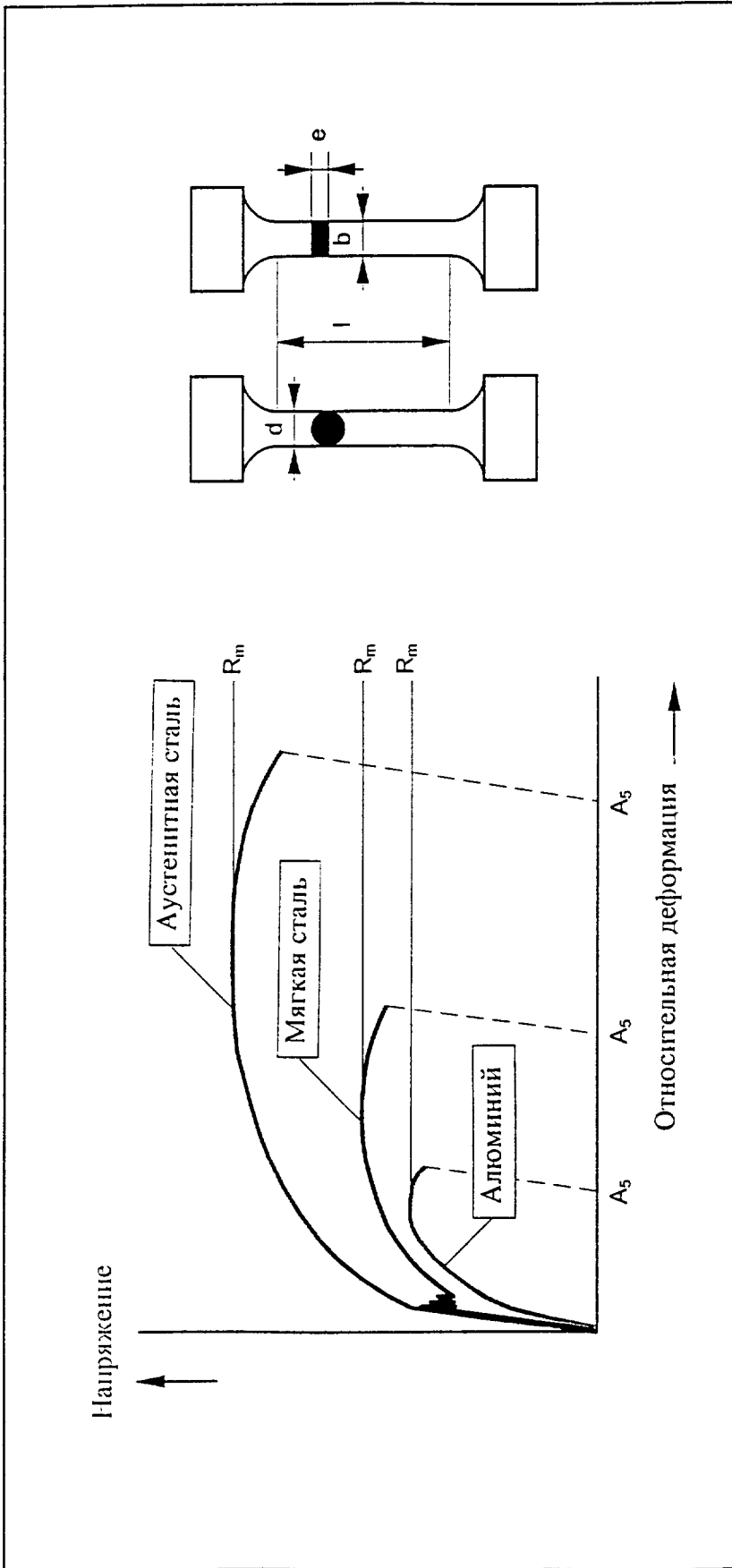
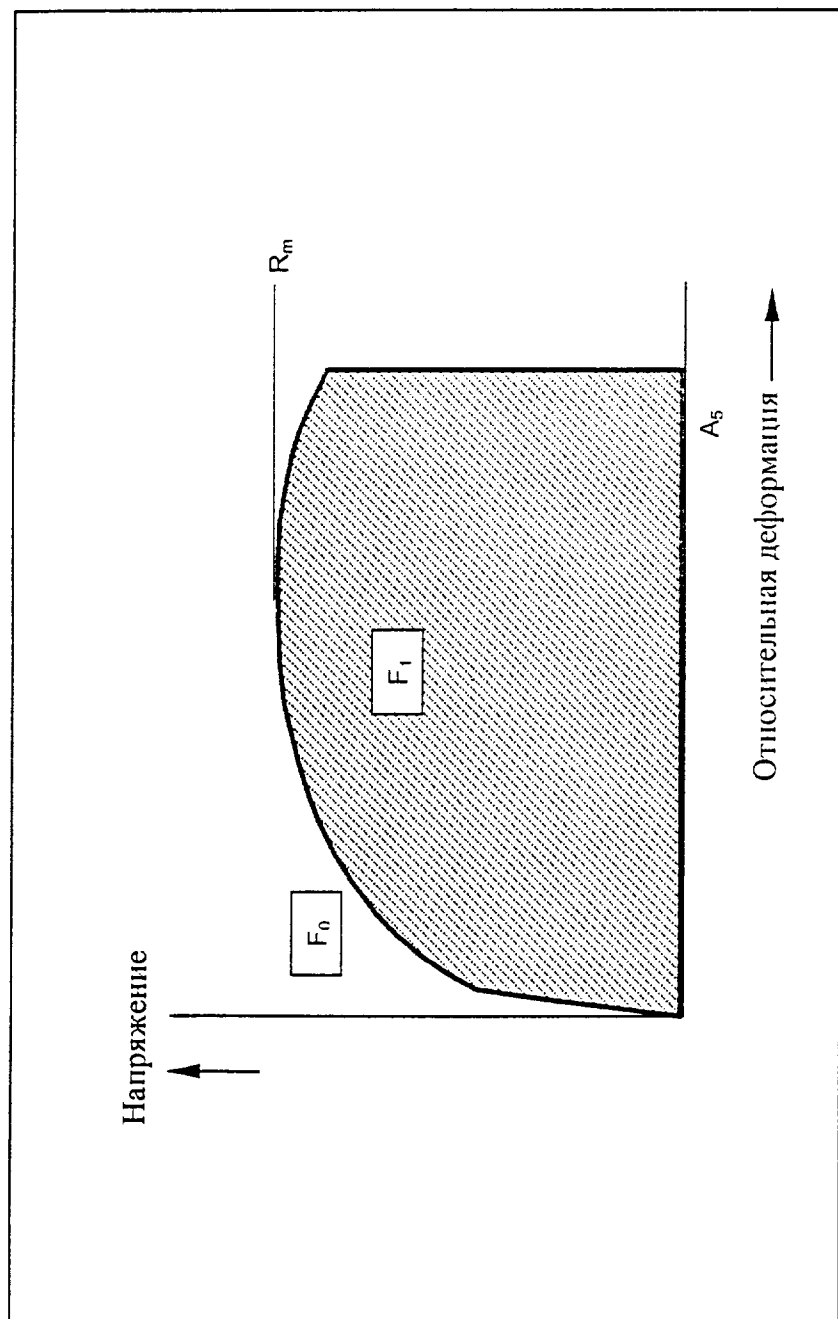


Рис. 1: Диаграмма зависимости деформации от напряжений для материалов, из которых обычно изготавливаются цистерны



Площадь F_0 : Работа деформации (оптимальные свойства упругопластичности)
Площадь F_1 : Работа деформации (полученная на практике кривая зависимости деформации от напряжений)

Рис. 2: Идеальная и полученная на практике кривые зависимости деформации от напряжений