

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлические, деревянные и пластмассовые конструкции»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по освоению дисциплины

«СПЕЦКУРС ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ   
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ»

Ростов-на-Дону

2023

УДК 69.07

Составители: С.В. Скачков, М.П. Котенко

Методические указания по освоению дисциплины «Спецкурс по проектированию металлических конструкций» / сост. С.В. Скачков, М.П. Котенко. – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2023. – 21 с.

Представлены методы проектирования и расчета вертикальных цилиндрических резервуаров. Дан пример расчета и конструирования резервуара вместимостью 5000 м3 для хранения жидкости с низкой упругостью паров.

Предназначено для обучающихся очной и заочной формы обучения для направлений подготовки 08.03.01 «Строительство» и 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»:

УДК 69.07

Печатается по решению редакционно-издательского совета

Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой

«Металлические, деревянные и пластмассовые конструкции»   
д-р техн. наук, доцент Г.Б. Вержбовский

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

В печать 28.04.2023 г.

Формат 60×84/16. Объем 1,3 усл. п. л.

Тираж 50 экз. Заказ № 739

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:

344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный технический университет, 2023

**Наземные вертикальные цилиндрические резервуары**

Наземные вертикальные цилиндрические резервуары проектируют, как правило, с плоским днищем, располагаемым на песчаной насыпной подушке. Типовые резервуары разработаны для нефтепродуктов объёмом 100-5000 м3. Имеются проекты резервуаров вместимостью на 10000, 20000 и до 100000 м3. Основными расчётными конструктивными элементами наземного резервуара являются стенка (корпус) и покрытие. Днище испытывает только сжатие от давления жидкости и назначается обычно по конструктивным соображениям из листов толщиной не менее 4 мм. Однако в стыке днища со стенкой требуется проверка местных напряжений, возникающих при действии опорных моментов.

Толщину стенки резервуара определяют по расчёту на прочность и назначают не менее 4 мм. По высоте резервуара листы стенки можно располагать встык (при толщине 6 мм и более), телескопически или ступенчато (рис. 1). Листы соединяют соответственно сплошными стыковыми или угловыми швами. Кромки листов, соединяемых встык, строгают на 5 мм и более с каждой стороны. Монтажные соединения полотнищ днища и корпуса осуществляют внахлёстку. В типовых резервуарах вместимостью до 5000 м3 все листы стенки и днища приняты размером 1500х6000 мм независимо от их толщины. При вместимости 10000100000 м3 высоту резервуара назначают 14-22 м, а размер листов – до 2200х8000 мм. Для экономии металла нижние пояса таких резервуаров целесообразно проектировать из низколегированной стали повышенной прочности.

Покрытие резервуаров выполняют коническим, висячим (в опытном порядке), сферическим и сфероцилиндрическим (рис. 2). При выборе типа покрытия учитывают назначение и условия эксплуатации резервуара. Если преобладают нагрузки, действующие сверху вниз (масса покрытия и теплоизоляции, снег, вакуум, аппаратура и оборудование на покрытии), то применяют коническое или сферическое покрытие; если преобладают нагрузки, действующие снизу-вверх (внутреннее избыточное давление паровоздушной смеси), то применяют, как правило, сфероцилиндрическое покрытие. В типовых резервуарах разработано сборное покрытие из крупноразмерных металлических щитов заводского изготовления. Щиты состоят из тонких листов толщиной 2,5-3 мм, уложенных на каркас, выполняемый из двутавров, швеллеров и уголков.

Оборудование резервуара, включающее в себя арматуру и приспособления для заполнения и выпуска жидкости, предохранительные клапаны, лестницы, лазы, световые и замерные люки и т.д., располагают в соответствующих местах на корпусе и крыше резервуара. Центральную стойку (трубчатую или решётчатую) предусматривают в висячих покрытиях и из сборных щитов; в коническом покрытии по фермам или балкам стойка является монтажным элементом.

В резервуарах специальных типов вместимостью 10000-100000 м3 для хранения легкоиспаряющихся жидкостей (бутана, сырой нефти и др.) применяют плавающие крыши или понтоны и стационарные покрытия, позволяющие значительно сократить потери жидкостей при испарении.

а) б) в) г)

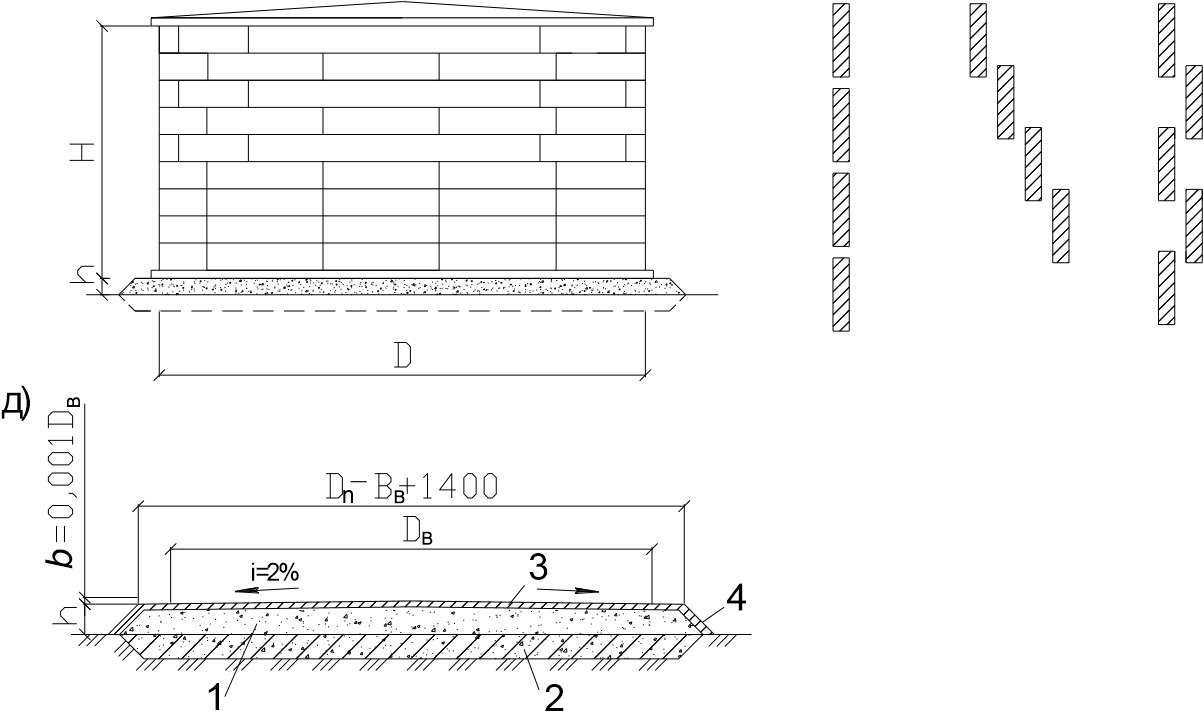


Рис. 1. Наземный цилиндрический резервуар:

а – общий вид; б-г – типы соединений поясов по высоте стенки соответственно: встык,

телескопическое и ступенчатое; д – сечение основания, где Dn – диаметр подушки,

Db – диаметр днища резервуара; в – высота конуса;

1 – песчаная подушка; 2 – насыпной уплотненный грунт; 3 – изоляционный слой (грунт, пропитанный битумом); 4 – отмостка гравийная, бутовая или бутобетонная

# **Пример**

**Задание**: Рассчитать и сконструировать стенку, днище и покрытие вертикального цилиндрического резервуара вместимостью 5000м3 для хранения жидкости с низкой упругостью паров. Плотность жидкости ρ = 0,0009кг/см3. Место строительства – II район по снеговому покрову, расчетная нагрузка – 1,2кН/м2. Материал резервуара – сталь марки ВСт3пс6 ГОСТ 380-71\*, *Ry* = 225МПа; сварка листов – электродами марки Э42. Избыточное давление паров испаряющейся жидкости, направленное наружу, принять ρ0 = 2кПа, а вакуум (нагрузку внутрь резервуара) – 250Па. Коэффициент надёжности по назначению γ*п* = 1.

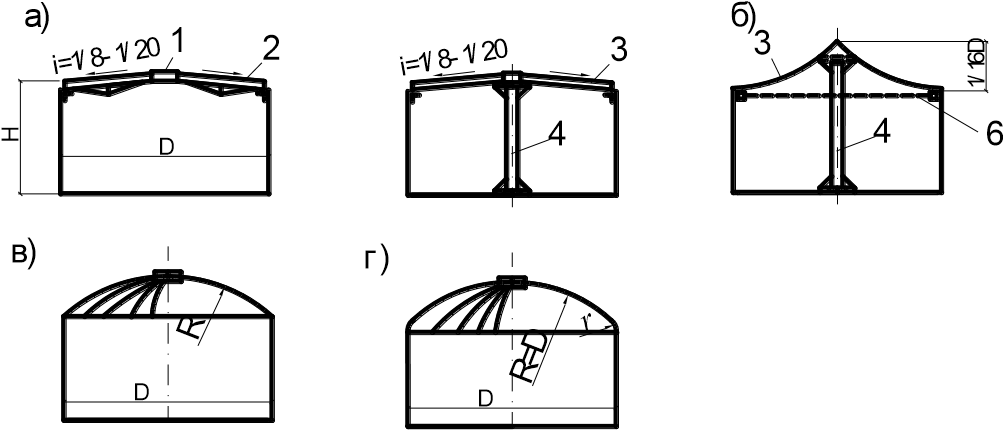


Рис. 2. Типы покрытий вертикальных цилиндрических резервуаров:

а – коническое б – висячее; в – сферическое; г – сфероцилиндрическое; 1 – опорное

кольцо; 2 – балка; 3 – щиты покрытия; 4 – центральная стойка; 5 –листовая кровля

толщиной 2,5 мм; 6 – коробчатое кольцо жесткости

**Решение**

*Назначение размеров резервуара.* Наиболее выгодное соотношение между высотой резервуара *H* и диаметром *D* (по данным академика В. Г. Шухова) при заданном объёме устанавливается следующими двумя правилами:

1) резервуар с переменной толщиной стенки имеет минимальный вес, если объём стали в днище и покрытии равен стали в стенке;

2) резервуар с постоянной толщиной стенки имеет наименьший вес при условии, что объём стали в днище и покрытии в 2 раза меньше объёма стали в стенке.

Исходя из этих правил, оптимальную форму резервуаров назначают при следующих соотношениях *H/D*: для объёма 100-600м3 принимают *H/D* = 1/1…1/4; для объёма до 10000м3 – *H/D* = 1/2…1/5. При этом высота резервуара должна быть кратна ширине листов (1400 или 1500). Наибольшая оптимальная высота больших резервуаров (до 10000м3) составляет около 12м, восемь поясов по1500мм.

Принимаем: номинальные размеры *H* =12м и *D =* 23м, отношение *H/D*≈1/2; в типовом резервуаре объемом 5000м3 конструктивные размеры по высоте *H* = 11845мм, внутренний диаметр D0 = 22 790 и наружный диаметр *D* = 22 810мм (укладывается по длине окружности 12 листов длиной по 6м).

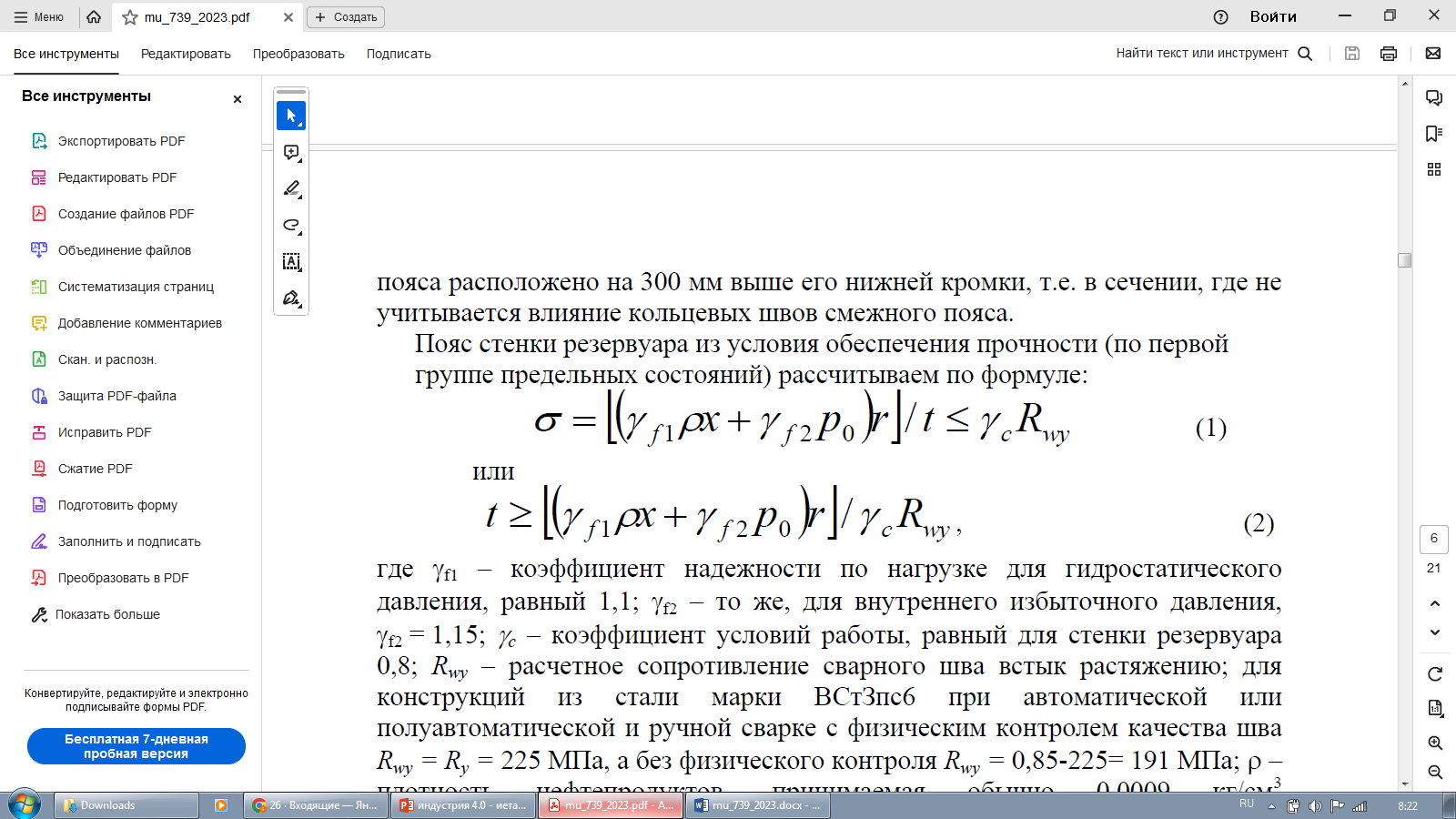
Крышу резервуара проектируем в виде щитов, состоящих из листов толщиной *t* = 2,5мм, уложенных на каркас из двутавров, швеллеров и уголков. Щиты опираются на центральную трубчатую стойку и корпус резервуара.

Днище, расположенное на песчаном основании, испытывает только сжатие от давления жидкости, поэтому толщину его листов назначаем по конструктивным соображениям: при D<18м принимают *t =* 4мм, при *D* = 18…25м *t* = 5мм и при D>25 м *t =* 6мм. В данном примере при *D =* 22,81м назначаем днище из листов *t* = 5мм; диаметр днища Db = D+90 =

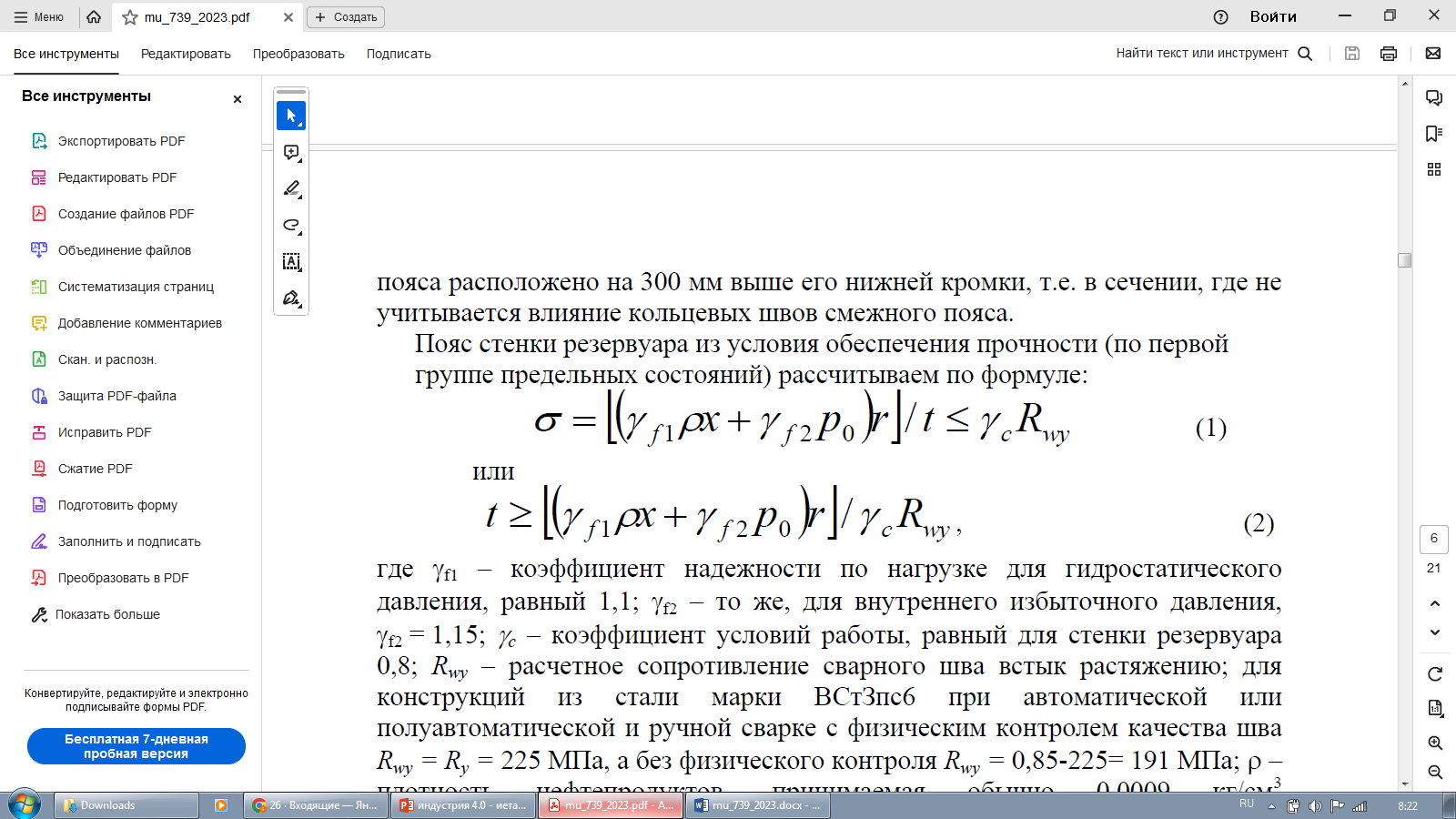
22810+90 = 22 900мм (выступ днища за пределы стенки принимают не более 50мм).

*Расчет стенки резервуара.* Принимаем высоту уровня залива резервуара *H*о—11,5м, а с учетом избыточного давления *p*0 = 2кПа условная высота *H*' = *Н*0*+р*0/*ρ* = 11,5+2(100)/0,0009·106 = 11,7м. Расчетная схема стенки корпуса резервуара показана на рис. 3. По высоте резервуара стенка состоит из восьми поясов высотой по 1500мм. Расчетное сечение каждого пояса расположено на 300мм выше его нижней кромки, т.е. в сечении, где не учитывается влияние кольцевых швов смежного пояса.

Пояс стенки резервуара из условия обеспечения прочности (по первой группе предельных состояний) рассчитываем по формуле:

 (1)

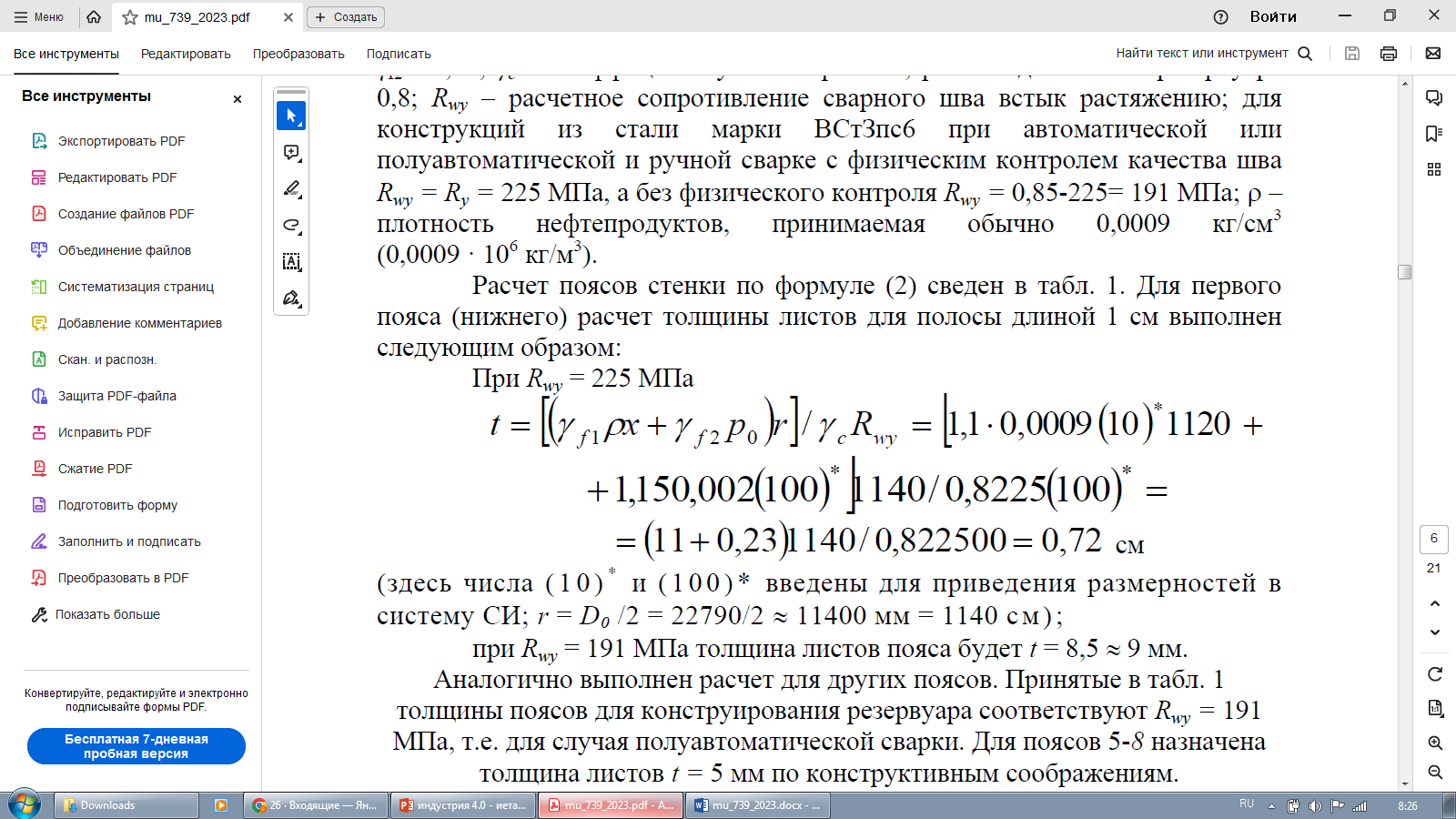
или

 (2)

где γf1 – коэффициент надежности по нагрузке для гидростатического давления, равный 1,1; γf2 – то же, для внутреннего избыточного давления, γf2 = 1,15; γ*с* – коэффициент условий работы, равный для стенки резервуара 0,8; *Rwy* – расчетное сопротивление сварного шва встык растяжению; для конструкций из стали марки ВСтЗпс6 при автоматической или полуавтоматической и ручной сварке с физическим контролем качества шва *Rwy = Ry =* 225МПа, а без физического контроля *Rwy =* 0,85-225= 191МПа; ρ – плотность нефтепродуктов, принимаемая обычно 0,0009кг/см3 (0,0009 · 106кг/м3).

Расчет поясов стенки по формуле (2) сведен в табл. 1. Для первого пояса (нижнего) расчет толщины листов для полосы длиной 1 см выполнен следующим образом:

При *Rwy* = 225МПа



(здесь числа (10) \* и (100)\* введены для приведения размерностей всистему СИ; *r* = *D0* /2 = 22790/2 ≈ 11400мм = 1140см); при *Rwy* = 191МПа толщина листов пояса будет *t* = 8,5 ≈ 9мм. Аналогично выполнен расчет для других поясов. Принятые в табл. 1 толщины поясов для конструирования резервуара соответствуют *Rwy =* 191МПа, т.е. для случая полуавтоматической сварки. Для поясов 5-*8* назначена толщина листов *t =* 5мм по конструктивным соображениям.

a) б)

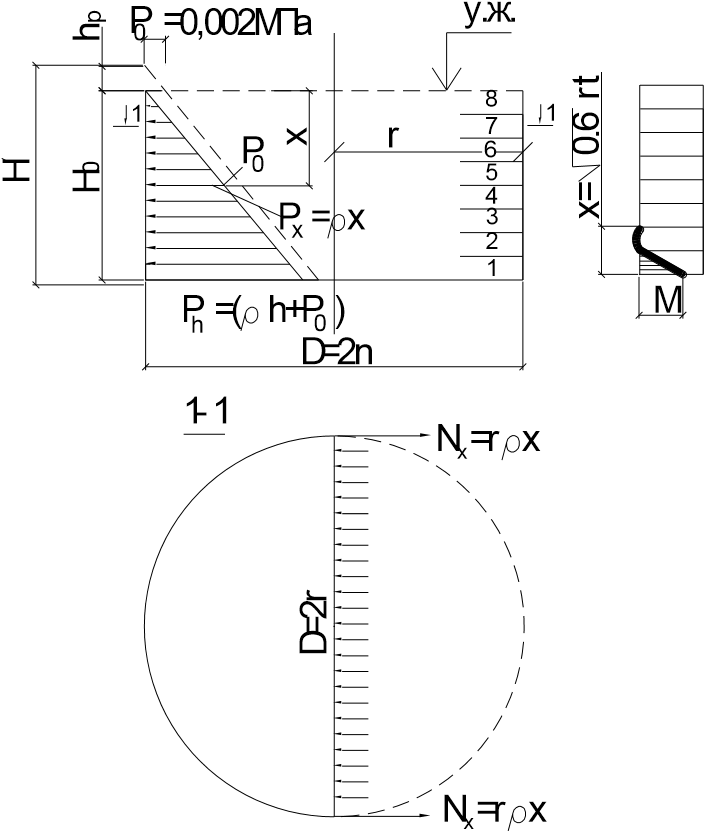


Рис.3. Расчетные эпюры давлений на стенку резервуара:

а – эпюра давления жидкости; б – эпюра момента в месте стыка днища со стенкой

*Расчет соединения стенки с днищем. Расчетная схема соединения стенки с днищем*

x

P(x)

*Основная система*

x1=M0

x2=Q0 x2

x

x

1

x

1

x

2

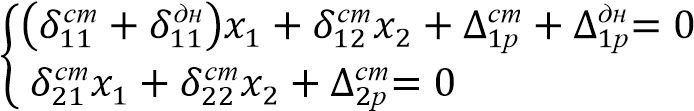
P

(

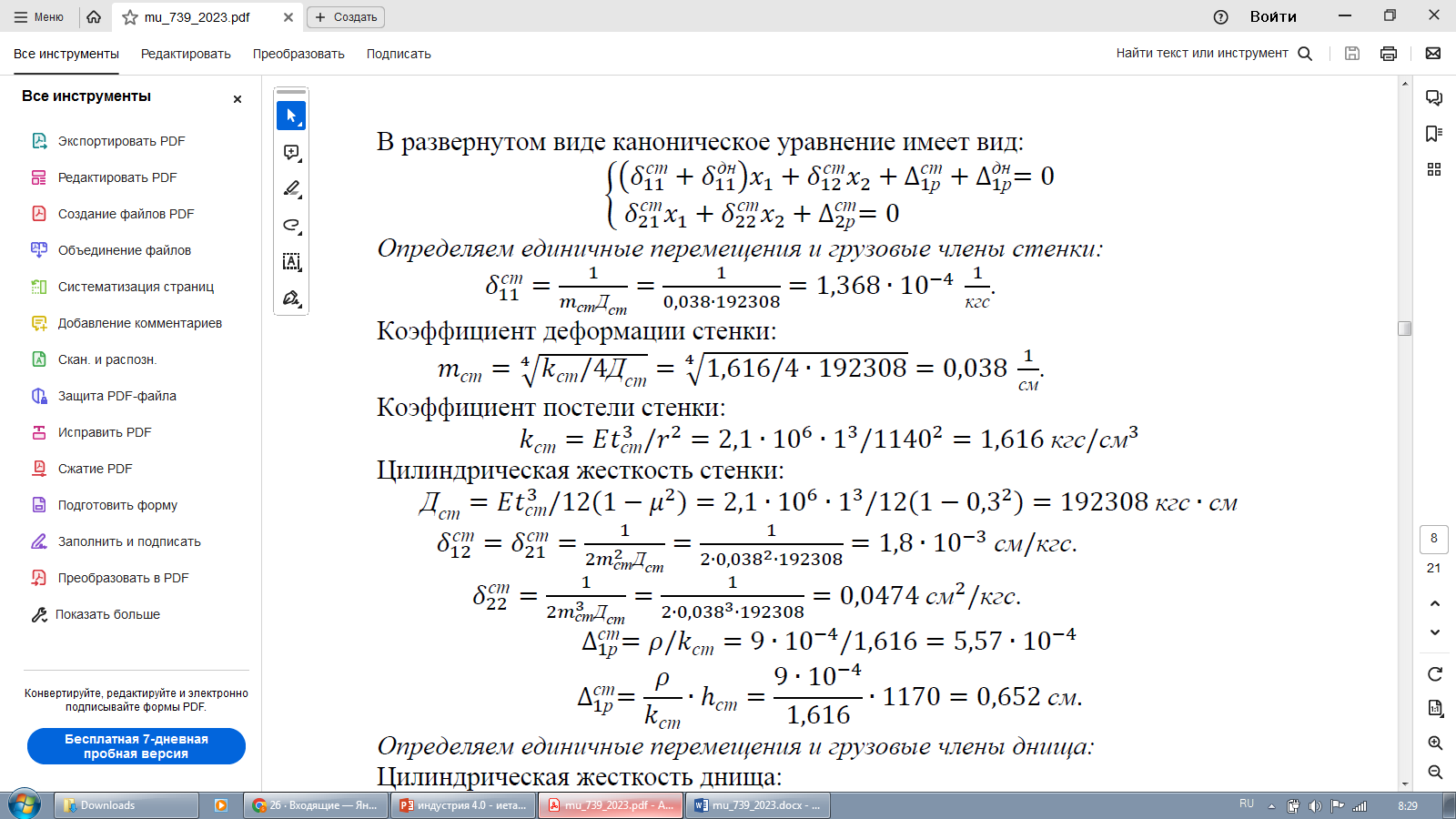
x

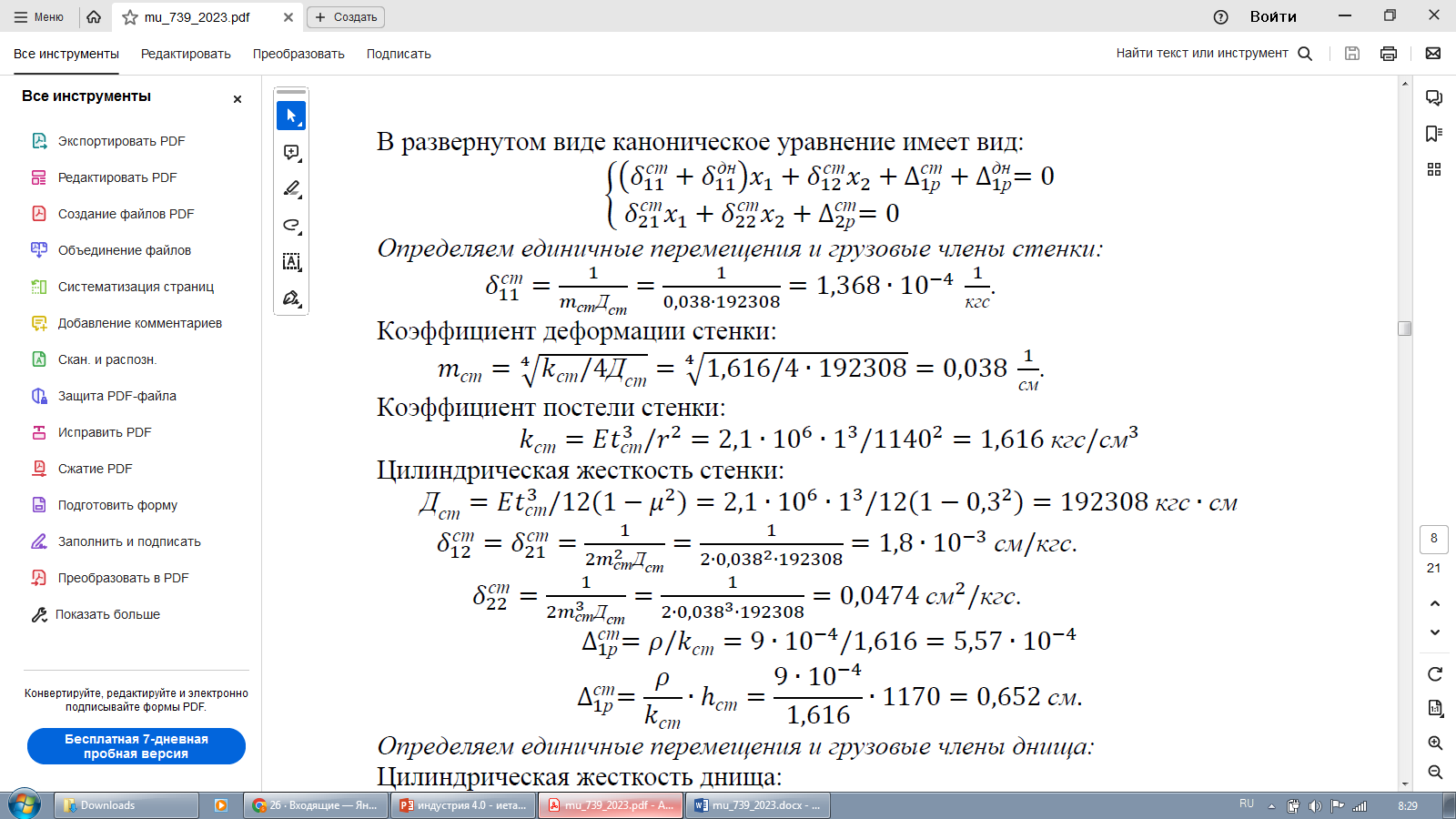
)

В развернутом виде каноническое уравнение имеет вид:



Определяем единичные перемещения и грузовые члены стенки:



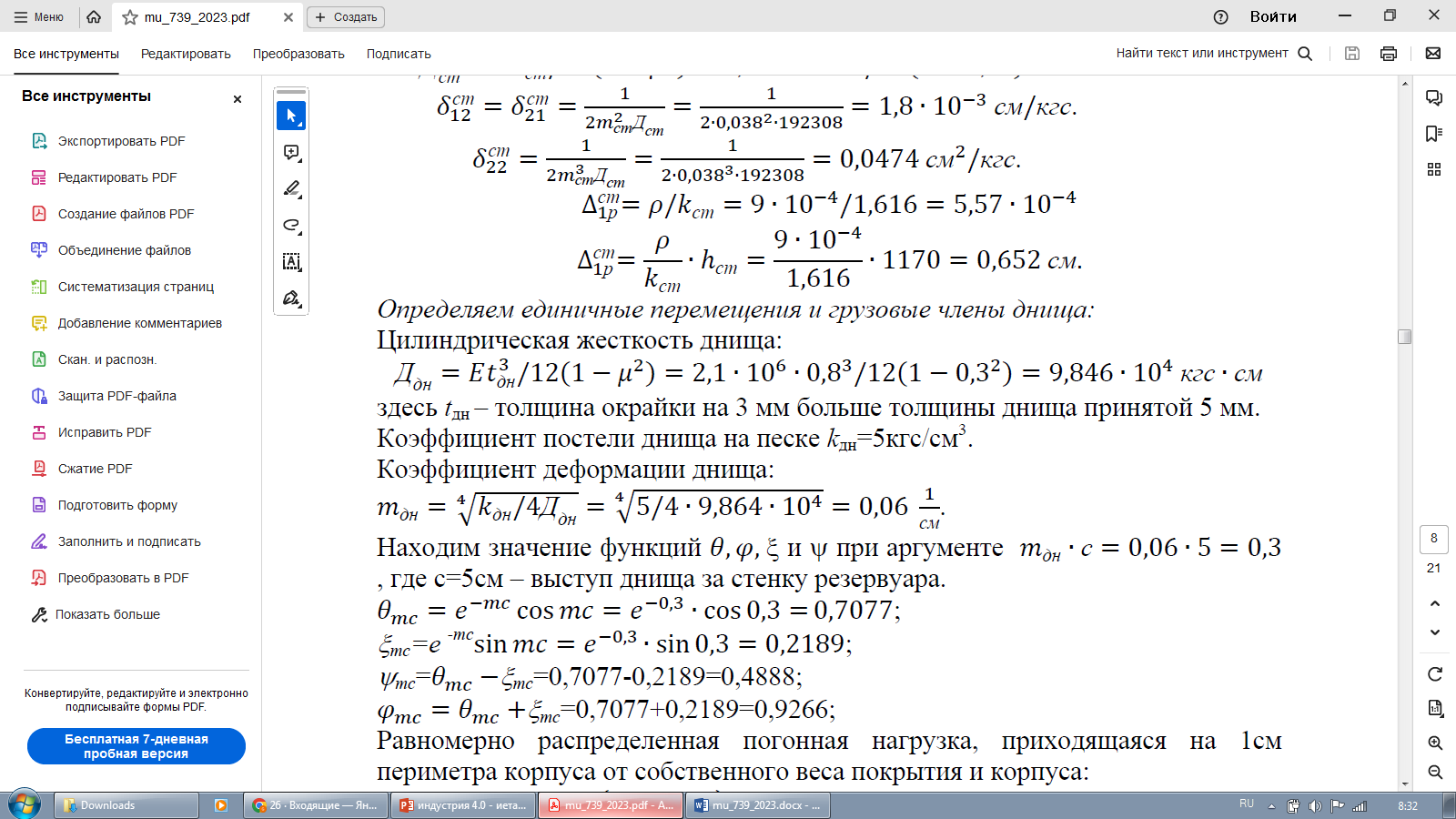


*Определяем единичные перемещения и грузовые члены днища:* Цилиндрическая жесткость днища:

*Ддн**см*

здесь *t*дн– толщина окрайки на 3мм больше толщины днища, принятой 5мм.

Коэффициент постели днища на песке *k*дн=5кгс/см3.



Находим значение функций 𝜃, 𝜑, ξ и при аргументе 𝑚*дн* ∙ *с* = 0,06 ∙ 5 = 0,3, где с=5см – выступ днища за стенку резервуара.

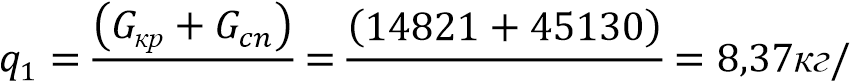
𝜃𝑚𝑐 = 𝑒−𝑚𝑐 cos 𝑚𝑐 = 𝑒−0,3 ∙ cos 0,3 = 0,7077;

ξ *mc=e -mc*sin 𝑚𝑐 = 𝑒−0,3 ∙ sin 0,3 = 0,2189;

*mc*=𝜃𝑚𝑐 −*mc*=0,7077-0,2189=0,4888;

𝜑𝑚𝑐 = 𝜃𝑚𝑐 +*mc*=0,7077+0,2189=0,9266;

Равномерно распределенная погонная нагрузка, приходящаяся на 1см периметра корпуса от собственного веса покрытия и корпуса:

*см*,

𝜋*Д* 3,14 ∙ 2280

здесь

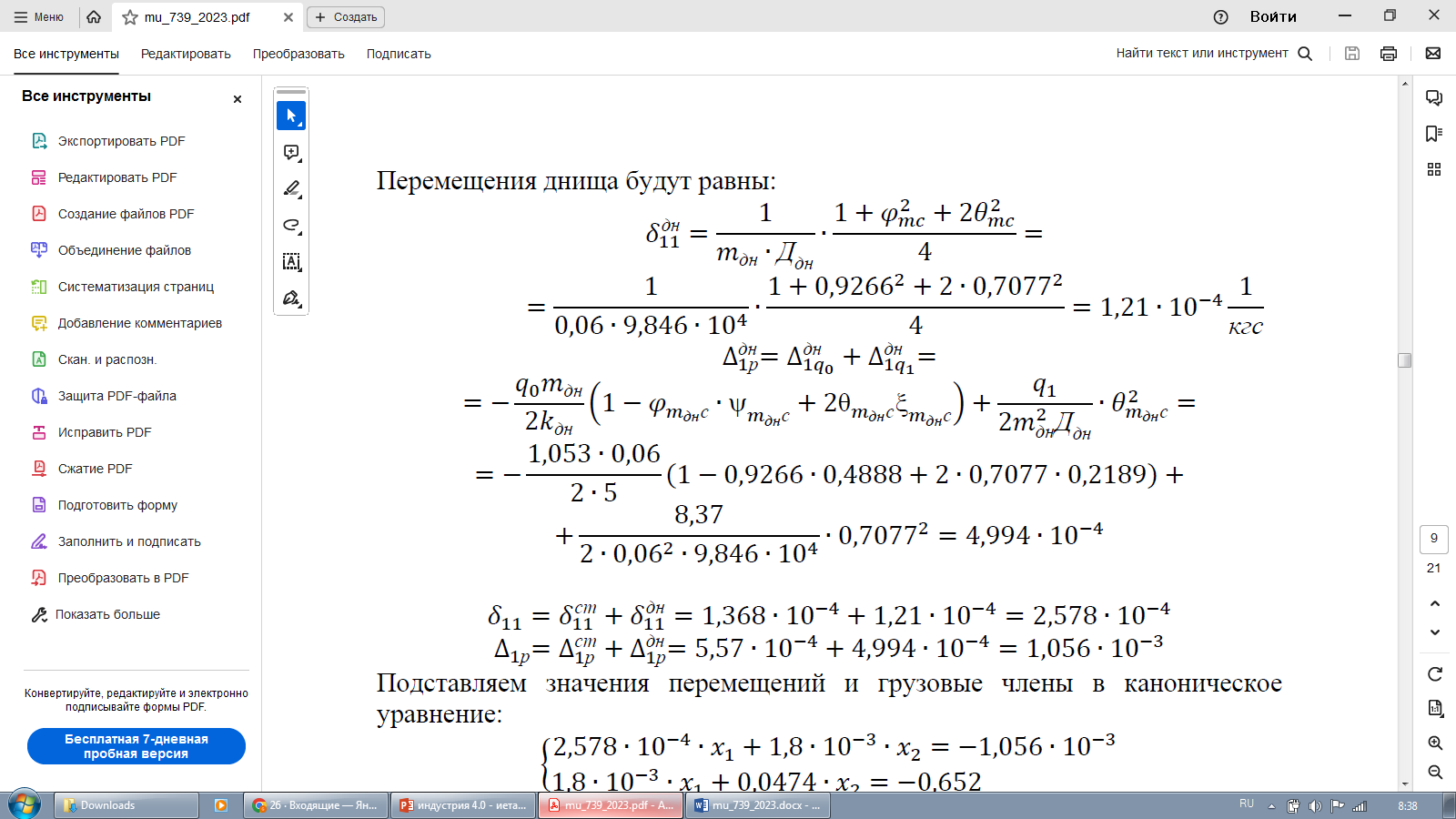
𝐺*кр* = 𝜋*Д*2/(𝐺*нас* + 𝐺*бал*) = 3,14 ∙ 22,82/4 ∙ (20,6 + 15,7) = 1482*кг*.

𝐺*ст* = 𝛾𝑓 ∙ 𝜋 ∙ *Д* ∙ 𝐻 ∙ 𝜌 ∙ 𝑡 = 1,05 ∙ 3,14 ∙ 22,8 ∙ 12 ∙ 7850 ∙ 0,00637 = 45130*кг*.

Равномерно распределенное гидростатическое давление:

𝑞0 = 𝜌𝐻 = 0,0009 ∙ 1170 = 1,053*кг*/*см*2

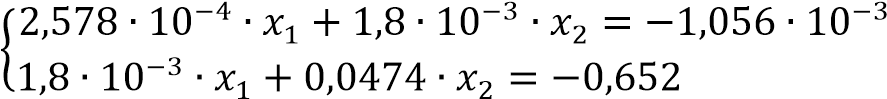
Перемещения днища будут равны:



𝛿11 = 𝛿11*ст* + 𝛿11*дн* = 1,368 ∙ 10−4 + 1,21 ∙ 10−4 = 2,578 ∙ 10−4

∆1*р*= ∆1*стр* + ∆1*днр*= 5,57 ∙ 10−4 + 4,994 ∙ 10−4 = 1,056 ∙ 10−3

Подставляем значения перемещений и грузовые члены в каноническое уравнение:

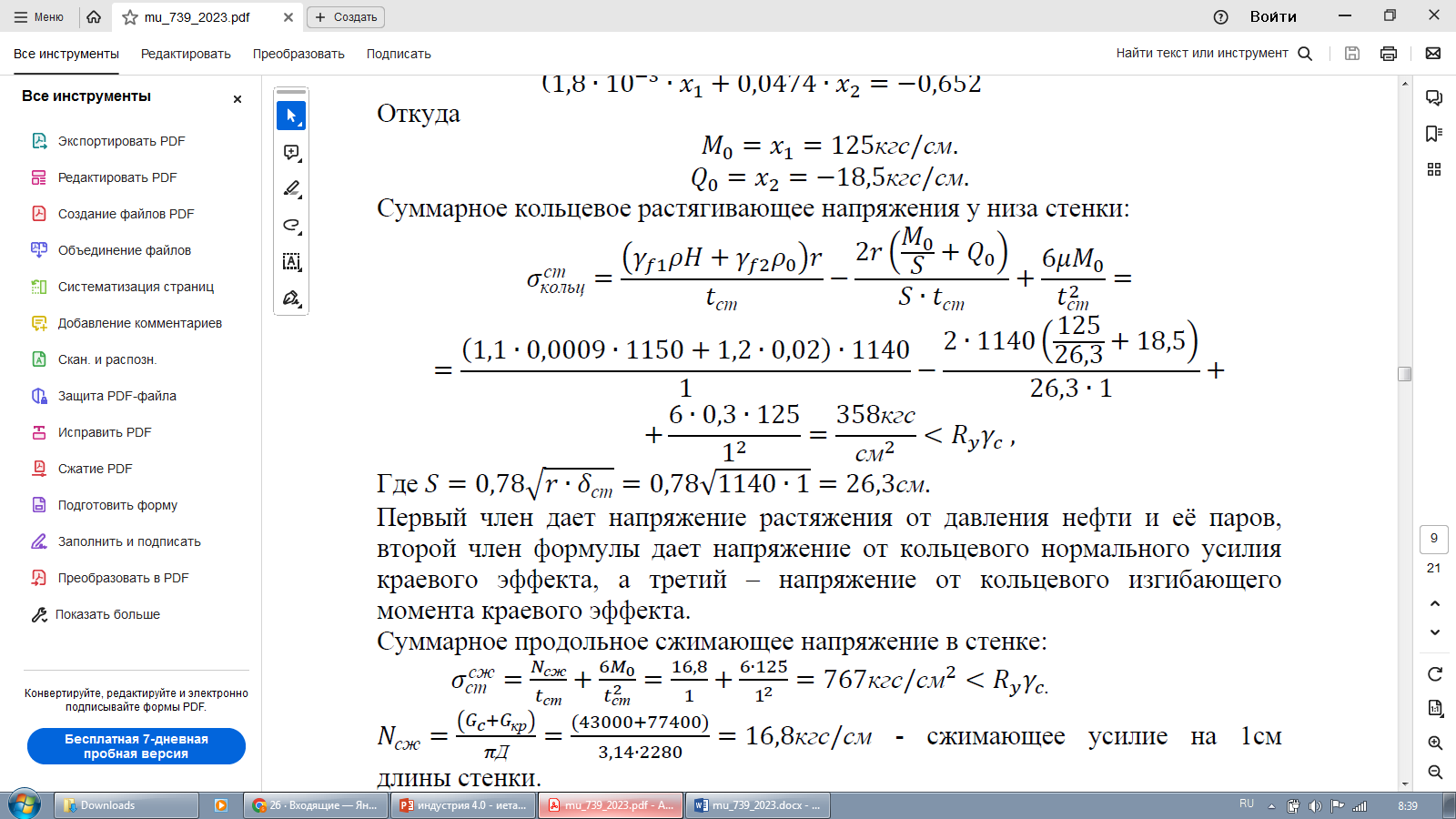


Откуда

𝑀0 = 𝑥1 = 125*кгс*/*см*.

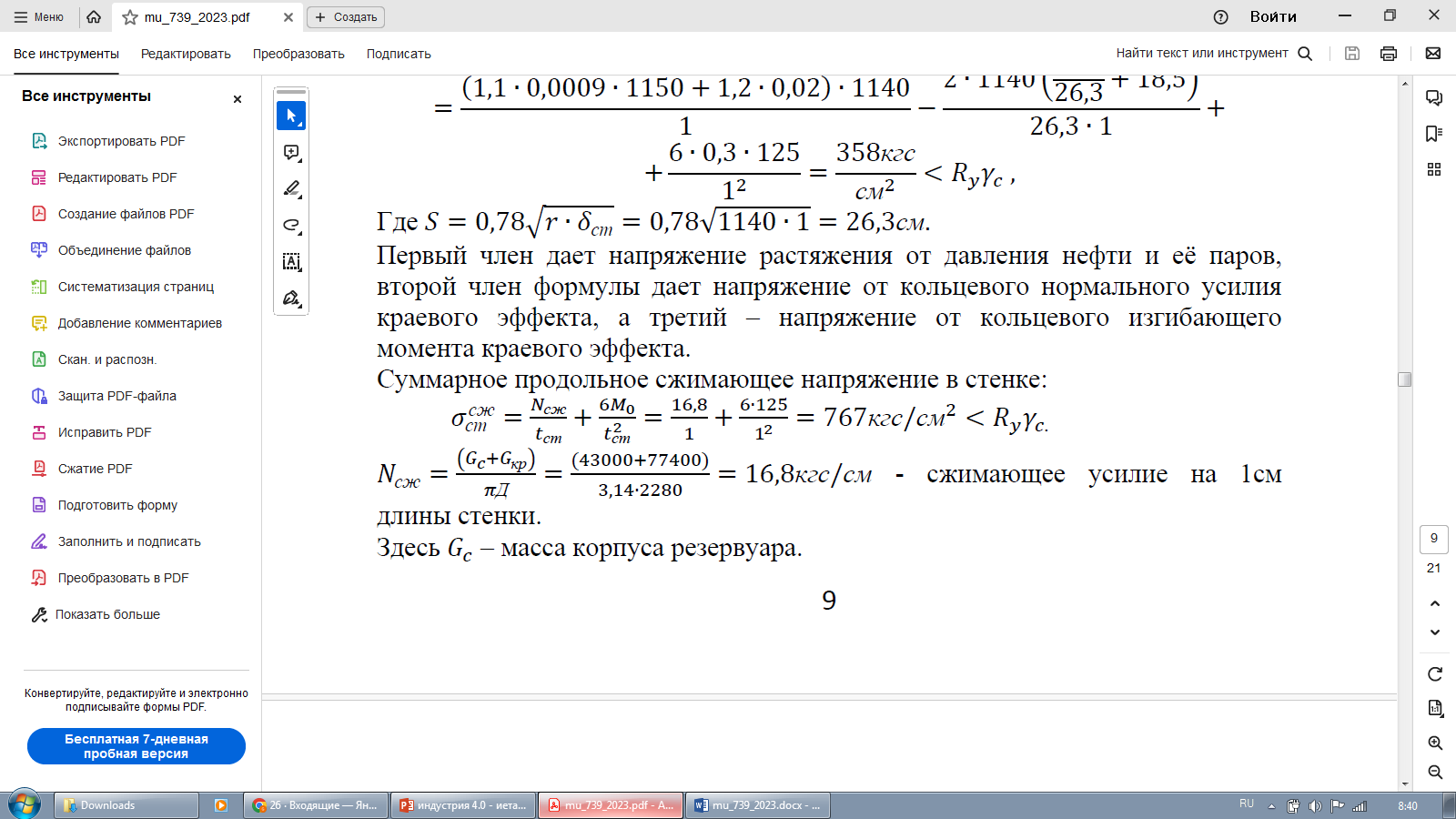
𝑄0 = 𝑥2 = −18,5*кгс*/*см*.

Суммарное кольцевое растягивающее напряжения у низа стенки:



Первый член дает напряжение растяжения от давления нефти и её паров, второй член формулы дает напряжение от кольцевого нормального усилия краевого эффекта, а третий – напряжение от кольцевого изгибающего момента краевого эффекта.

Суммарное продольное сжимающее напряжение в стенке:



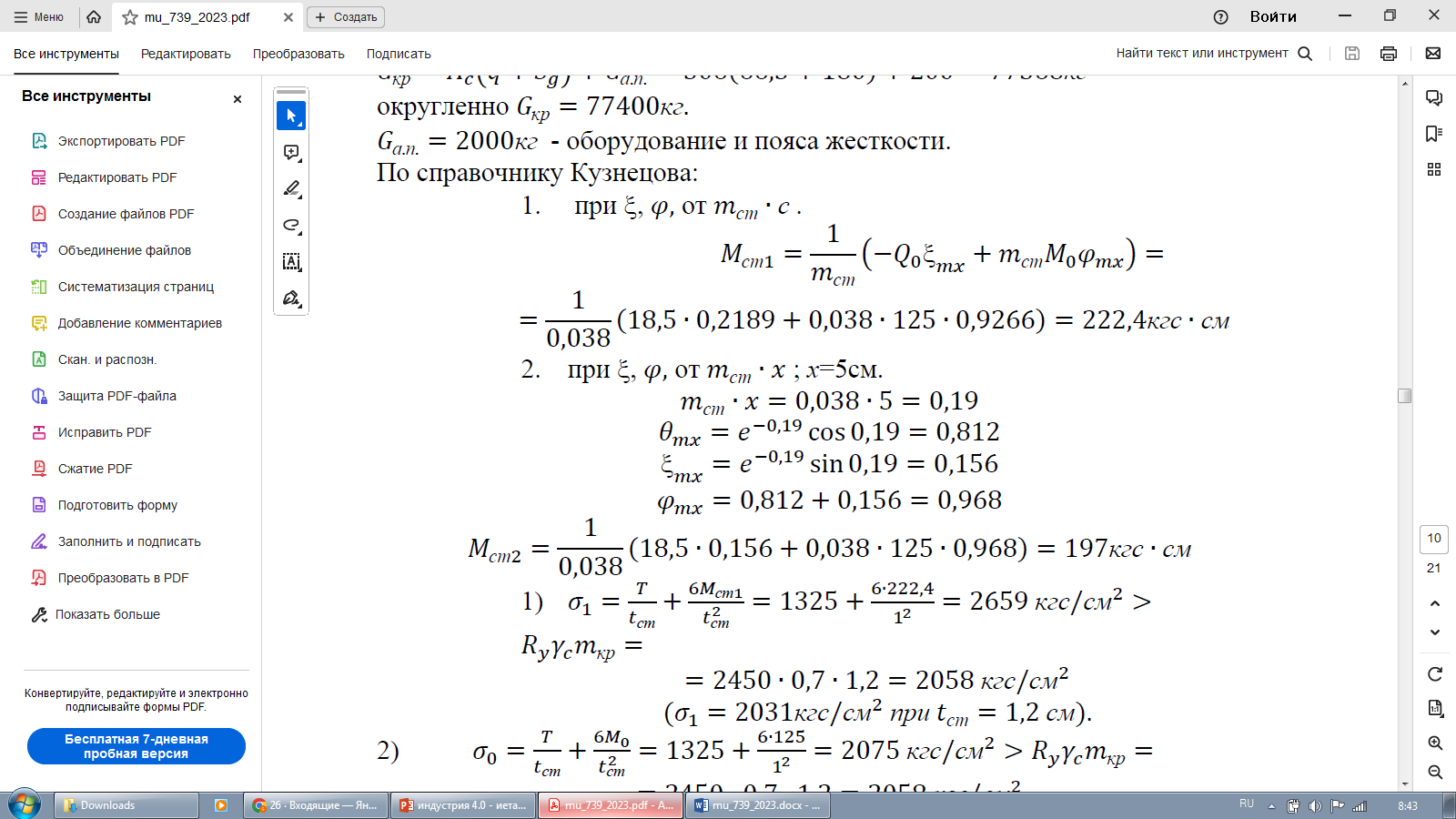
Здесь 𝐺𝑐 – масса корпуса резервуара.

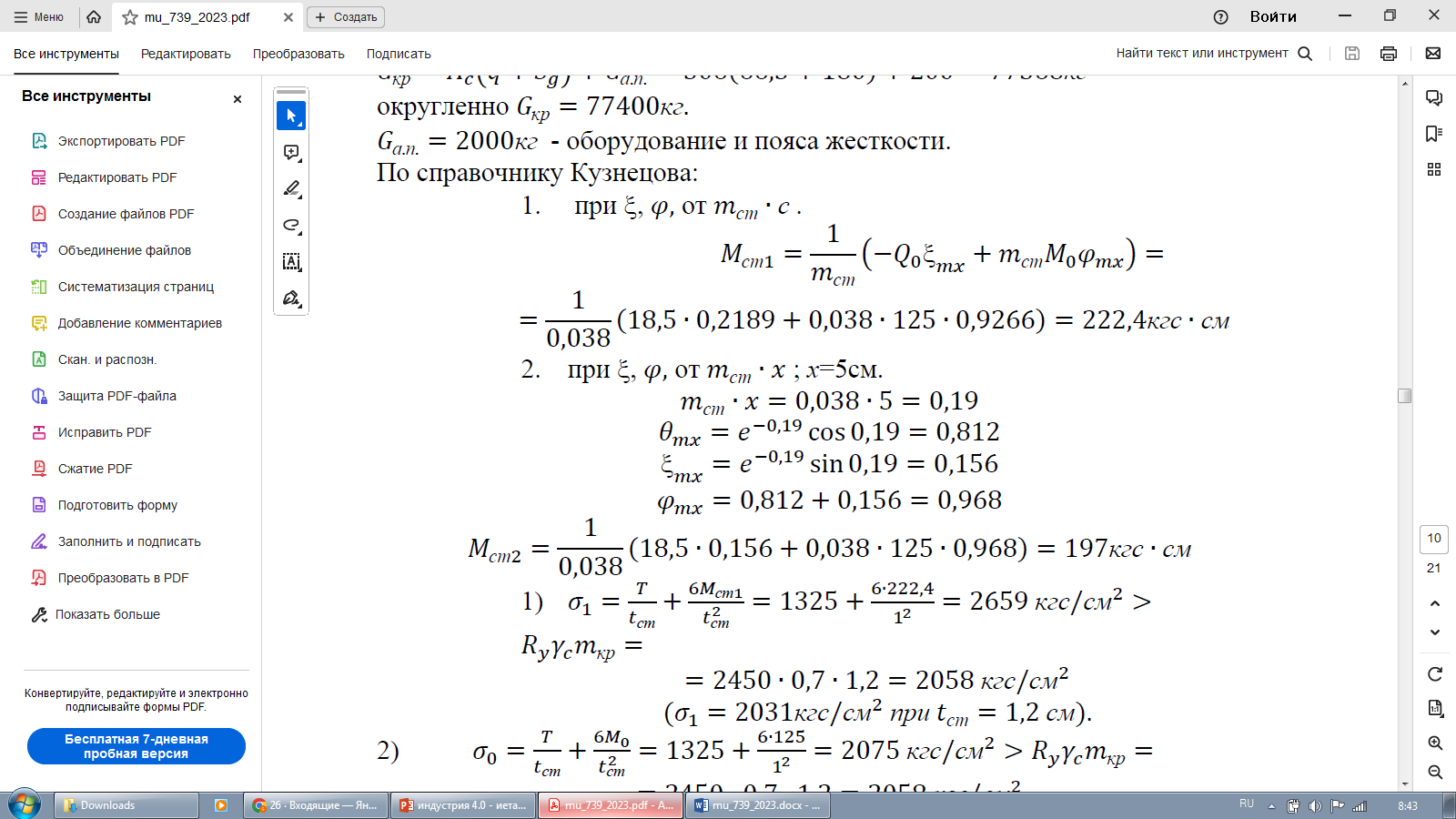
𝐺*кр* – масса кровли резервуара со снегом, поясами жесткости и оборудованием.

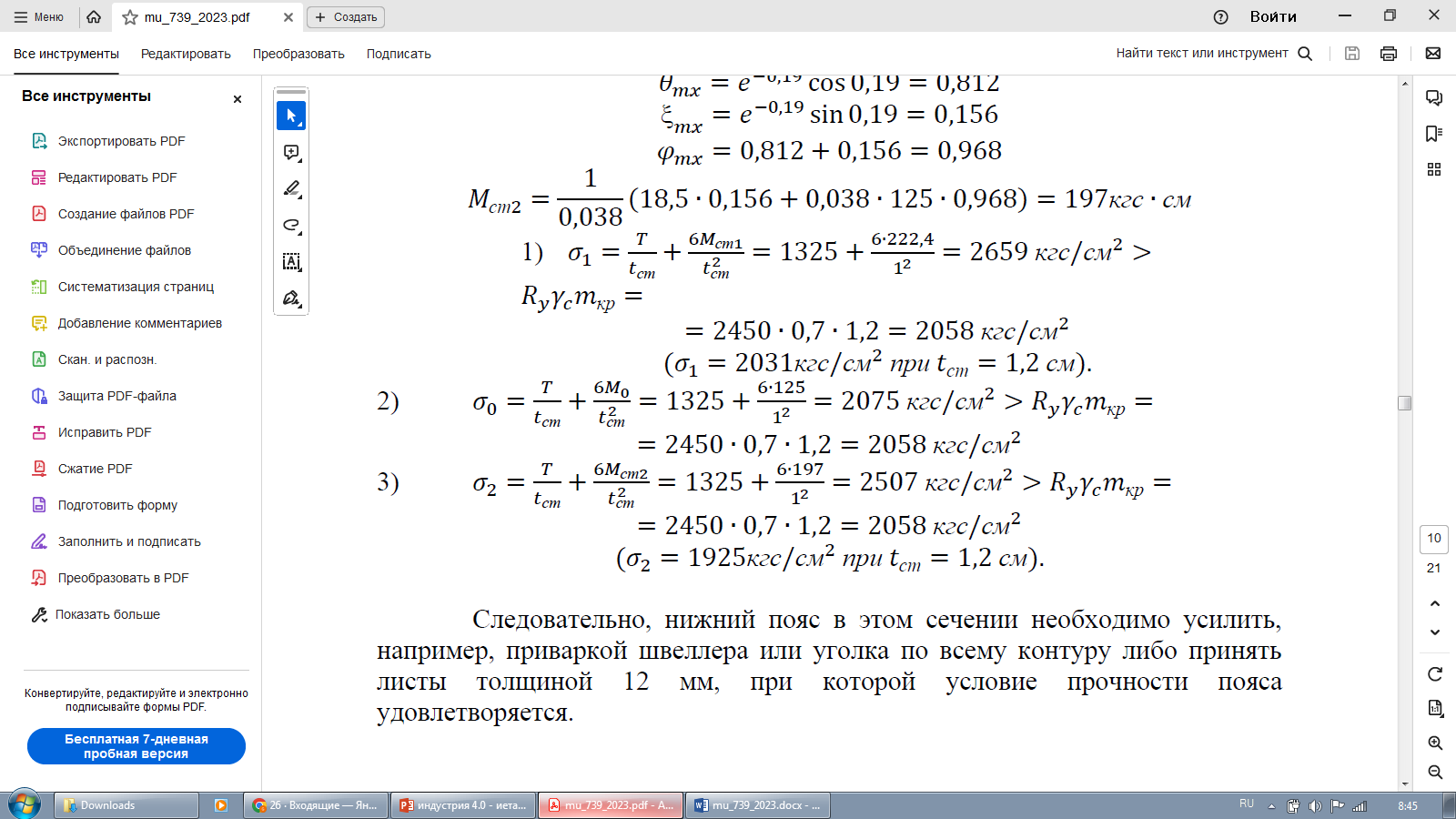
𝐺*кр* = 𝐴𝑐(𝑞 + 𝑆𝑔) + 𝐺*а*.*п*. = 306(66,3 + 180) + 200 = 77368*кг* округленно 𝐺*кр* = 77400*кг*.

𝐺*а*.*п*. = 2000*кг* - оборудование и пояса жесткости.

По справочнику Кузнецова:

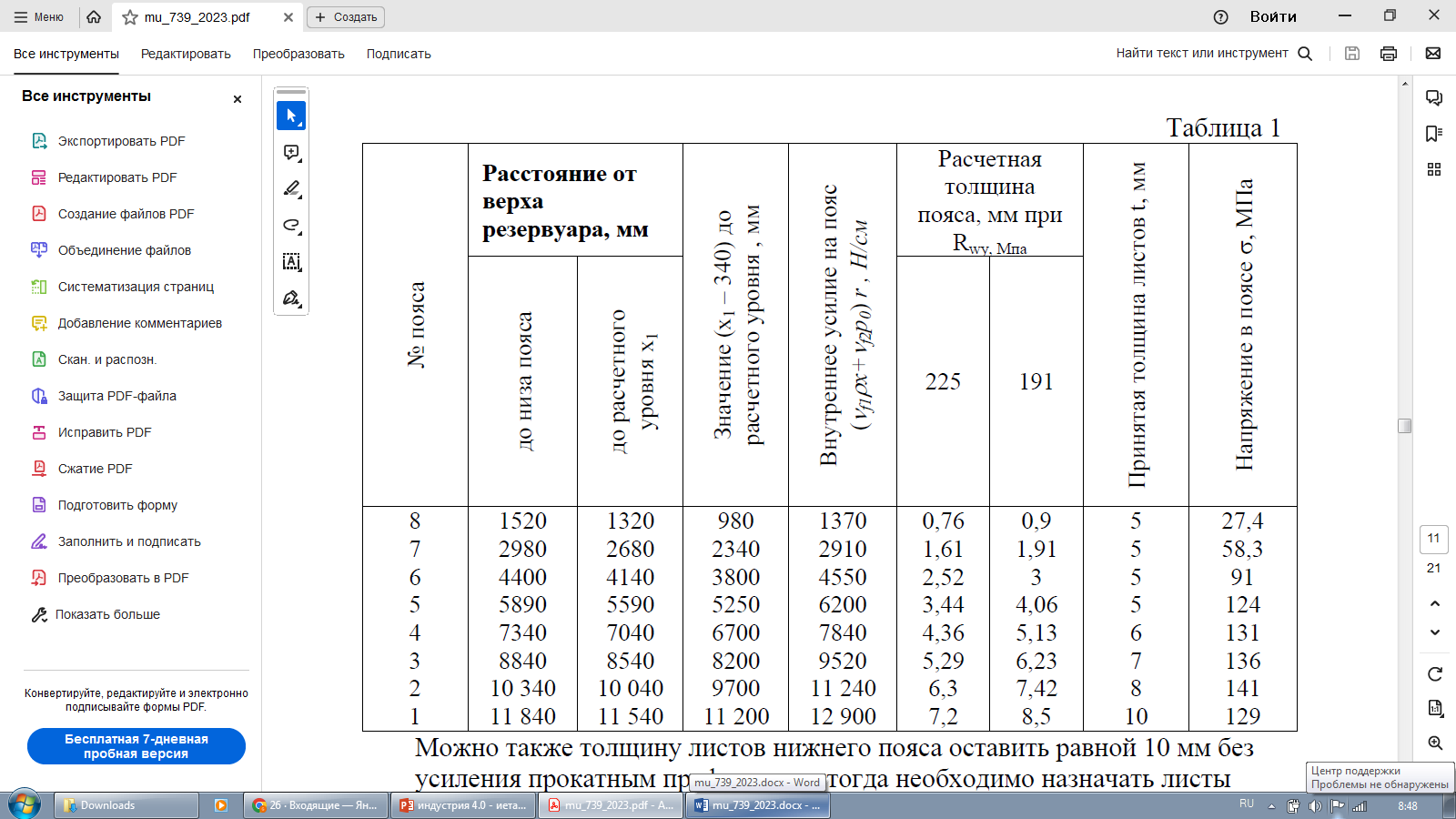






Следовательно, нижний пояс в этом сечении необходимо усилить, например, приваркой швеллера или уголка по всему контуру либо принять листы толщиной 12мм, при которой условие прочности пояса удовлетворяется.

Таблица 1



Можно также толщину листов нижнего пояса оставить равной 10мм без усиления прокатным профилем, но тогда необходимо назначать листы стали повышенной прочности, например, марки 09Г2С и др. Окончательно это решается на заводе-изготовителе с учетом наличия листовой стали соответствующих марок. Схемы сопряжений поясов по высоте резервуара и эпюры давления и напряжения показаны на рис. 4. После расчета стенки по прочности проверяют устойчивость формы корпуса резервуара при совместном действии равномерного осевого и радиального сжатия.

*Расчет конструктивных элементов щитов покрытия.*

Расчет конструкции покрытия производят на два вида нагрузок: нагрузки, направленные внутрь резервуара – собственный вес и вакуум, теплоизоляция, снег; нагрузка, направленная изнутри резервуара наружу; давление паров испаряющейся жидкости (избыточное давление 2кПа).

Подсчёт расчётных нагрузок, действующих сверху вниз, Н/м2:

постоянная

|  |  |
| --- | --- |
| листовой настил *t* = 2,5мм | 0,0025·7850·1,05 (10) = 206 |
| балки (приближенно) | 150·1,05 = 157 |
| вакуум (разряжение) | 250·1,2 = 300 |
| Итого g | 663 |
| Временная (снеговая) *р* | 1200 |

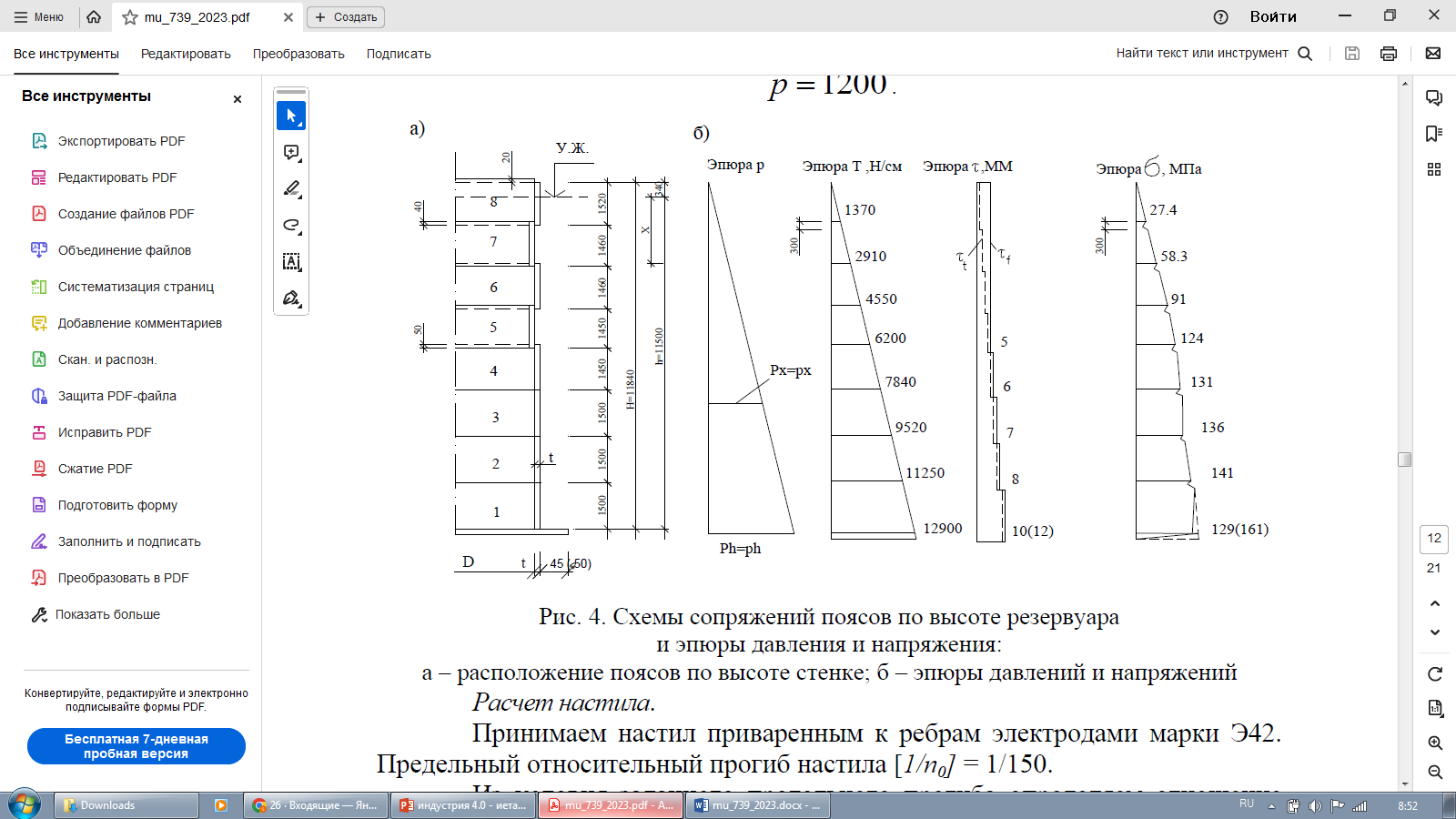
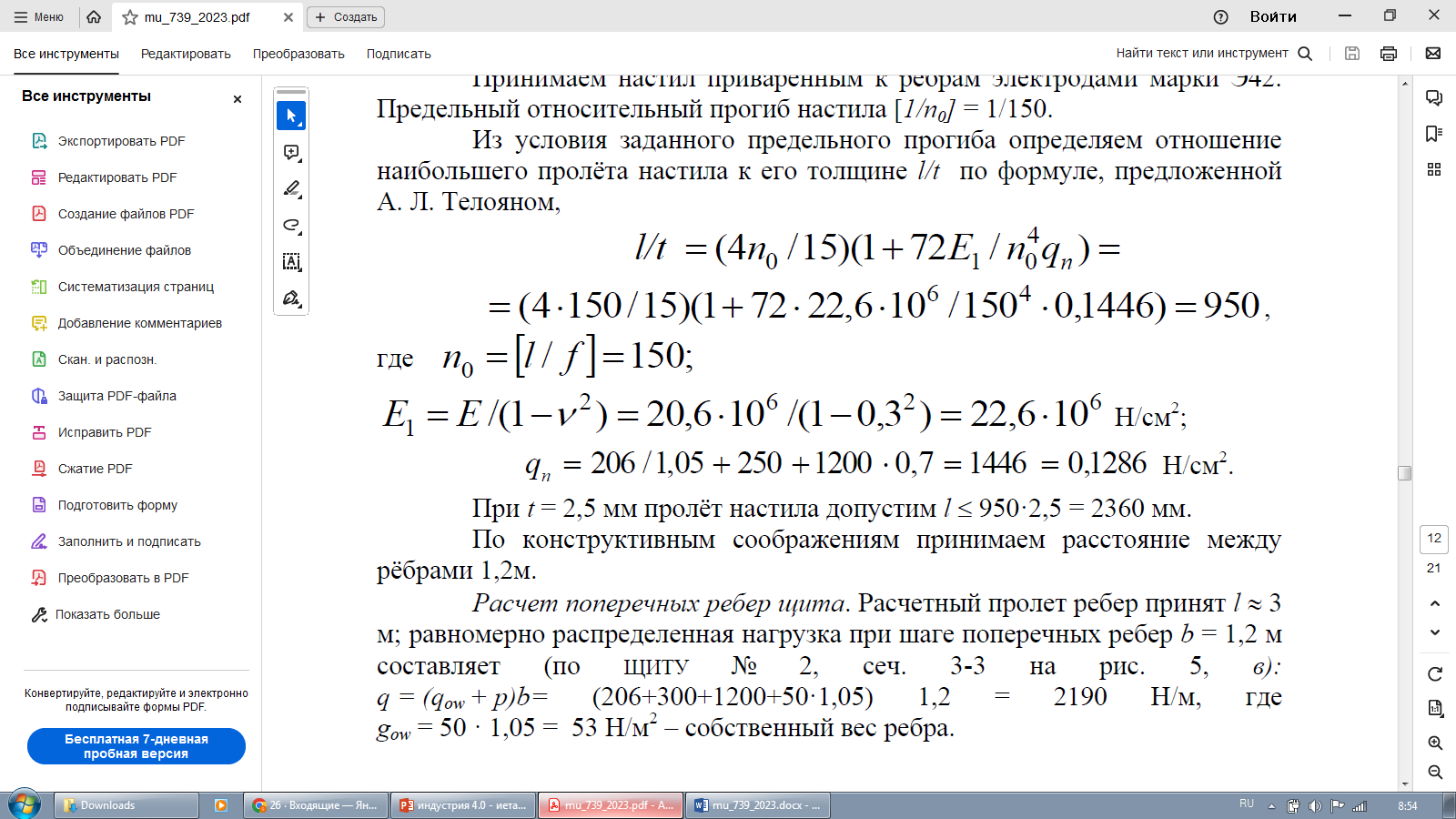


Рис. 4. Схемы сопряжений поясов по высоте резервуара и эпюры давления и напряжения:

а – расположение поясов по высоте стенке; б – эпюры давлений и напряжений

*Расчет настила*. Принимаем настил приваренным к ребрам электродами марки Э42. Предельный относительный прогиб настила [*1/п0]* = 1/150.

Из условия заданного предельного прогиба определяем отношение наибольшего пролёта настила к его толщине *l/t* по формуле, предложенной А. Л. Телояном,



При *t* = 2,5 мм пролёт настила допустим *l* ≈ 950·2,5 = 2360мм.

По конструктивным соображениям принимаем расстояние между рёбрами 1,2м.

*Расчет поперечных ребер щита*. Расчетный пролет ребер принят *l* ≈ 3м; равномерно распределенная нагрузка при шаге поперечных ребер *b* = 1,2м составляет (по ЩИТУ №2, сеч. 3-3 на рис. 5,*в): q = (qow + p)b =*(206+300+1200+50·1,05)1,2 = 2190Н/м, где *gow* = 50 · 1,05 = 53 Н/м2 – собственный вес ребра.

Изгибающий момент, как в свободно опертой балке,

*M* = *ql*2 /8 = 2190 · 32 /8 = 2464Н·м.

Требуемый момент сопротивления сечения

*Wd = M/Ry*γс = 246400/23500 = 10,5см3.

По сортаменту подбираем 8, *Wx* = 22,4см3, *Jx* = 89,4см4.

Относительный прогиб ребра (без учета настила ввиду его малой толщины)

*f* /*l* = (5/384)(*qnl*3 / *EJx*) = 5·18,3·3003 /(384·20,6·106 ·89,4) = 0,0035<1/200,

# Где *qn =* *q*/γ*f* *=* 2190/1,2 *=*1825 *=*18,3 Н/см; *E =* 20,6·106 Н/см2 (2,06·105 МПа).

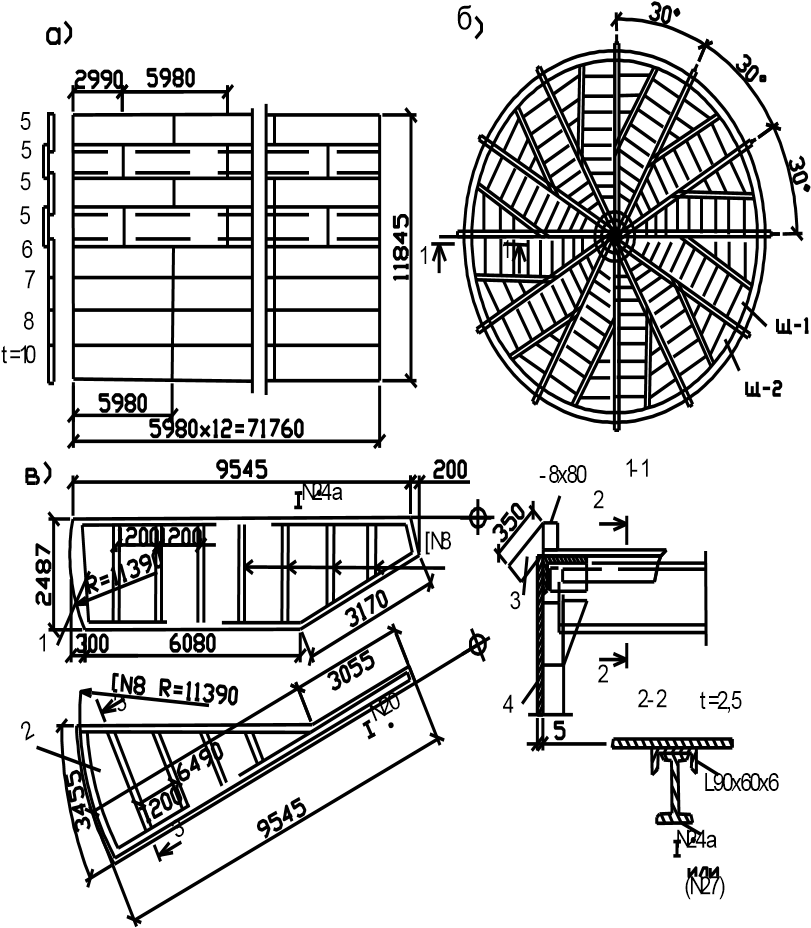


Рис. 5. Сборные элементы стенки и щитового покрытия резервуара

вместимостью 5000м3:

а – корпус резервуара (полотнище); б – план щитов покрытия; в – типы щитов покрытия; 1 – щит Щ-1; 2 – то же, Щ-2; 3- фиксатор (ловитель);

4 – стенка резервуара

*Расчет продольной балки щита*. Пролет балки при свободном опирании на стенку резервуара и оголовок (зонт) трубчатой стойки равен около 10 м. Равномерно распределенная нагрузка на 1 м длины балки при ширине грузовой площадки *b* *=* 1,25 м

*q =*1863·1,25 *=* 2329 Н/см.

Изгибающий момент от действия полной расчетной нагрузки

*M =* *ql*2 /8 *=* 2329 · 102 /8 *=* 29112 Н·м.

Требуемый момент сопротивления сечения балки из условия обеспечения прочности в свою очередь

*Wd =M* / *Ry*γ*c =* 2911200/23500 *=*124 см3.

Требуемый момент инерции сечения балки из условия обеспечения жесткости (при *f/l* = 1/250)

*Jd*,*x =* (5*n*0 /384)(*qnl* 3 / *E*) *=* (1250/384)(19,4·10003 /20,6·106 ) *=* 3660 см4,

Где *qn =q*/γ*f =* 2329/1,2 *=*1940 *=*19,4 Н/см; *n*0 *=* [*l*/ *f*] *=* 250; 5*n*0 *=*5·250 *=* 1250.

Принимаем по жесткости двутавр № 27, *J*x = 5010 см4.

Покрытие резервуара спроектировано из щитов двух типов: прямоугольного со скошенным углом на опоре со стороны стойки и треугольного (см. рис. 5) применительно к типовому проекту № 704-1-56 института ЦНИИПроектстальконструкция (данный проект заменен типовым проектом № 704-1-67 института Южгипротрубопровод, г. Киев, покрытие – сферическое, варианты – с понтоном и без понтона).

Расчет элементов покрытия на вторую комбинацию нагрузок (избыточное давление изнутри резервуара наружу) не производим, так как по заданию оно равно 2 кПа, что меньше расчетной нагрузки сверху вниз, равной 2,263 кПа.

*Расчет центральной стойки* проводим на центрально приложенную осевую силу. Грузовая площадь покрытия

*Ac =*p*dc*2 /4*=*3,14·11,42 /4*=*102м2,

где *dc =* *D*/2*=* 22,81/2*=*11,4 м.

Вычисляем осевую силу

*N =* *Ac*(*g* + *p*) + *Gow =*102(0,663 +1,2) +18 ·1,05 *=* 209кН.

Здесь *Gow* – собственный вес стойки, принимаемый по опыту типового проектирования: для резервуаров вместимостью 3000-5000м3 масса стойки на 1 м ее длины равна 150кг; то же, вместимостью 1000-2000 м3-120-130кг; общая масса стойки длиной 12м *Gow* = 150·12 = 1800кг (18кН).

Требуемая площадь сечения стойки при φ≈0,8

*Ad* = *N* /φ*Ry*γ*c* = 250000/0,8·32000 = 9,8 см2.

По конструктивным соображениям, с учетом условий опирания щитов покрытия и использования стойки для рулонирования элементов резервуара принята стойка из трубы диаметром 1020мм со стенкой толщиной 6мм, ТУ 14-3-1138-82, *А* =191см2, радиус инерции сечения *i*=35,9см, сталь марки 17ГIС-У (класса К-52), *Ry* =320МПа. Гибкость стойки λ *= lo/i=* 1200/35,9 = 33,4 < λlim = 120; φ = 0,93. Для предотвращения отрыва покрытия трубчатую стойку заполняют песком. Детали стойки показаны на рис. 6. Оголовок (зонт) и базу стойки проектируют одинакового диаметра 2,63м с расчетом возможности ее использования для рулонирования стенки или отправочной части днища резервуара на заводе-изготовителе.

*Проверка устойчивости положения* покрытия при действии избыточного давления *p0* = 0,2 Н/см2. Общий вес покрытия *Nr* и стойки *Nс* без учета временной нагрузки и коэффициентов надёжности по нагрузке

*N* = *Nr* + *Nc* =141,1+18=159,1≈160 кН,

где

*Nr* = *A*0*gn* = (p*D*2 /4)*gn* = (3,14·22,82 /4)(206·157)/1,05=141077 =141,7 кН;

*Nc* = *Gow* = 0,150 ·12(10) =18 кН.

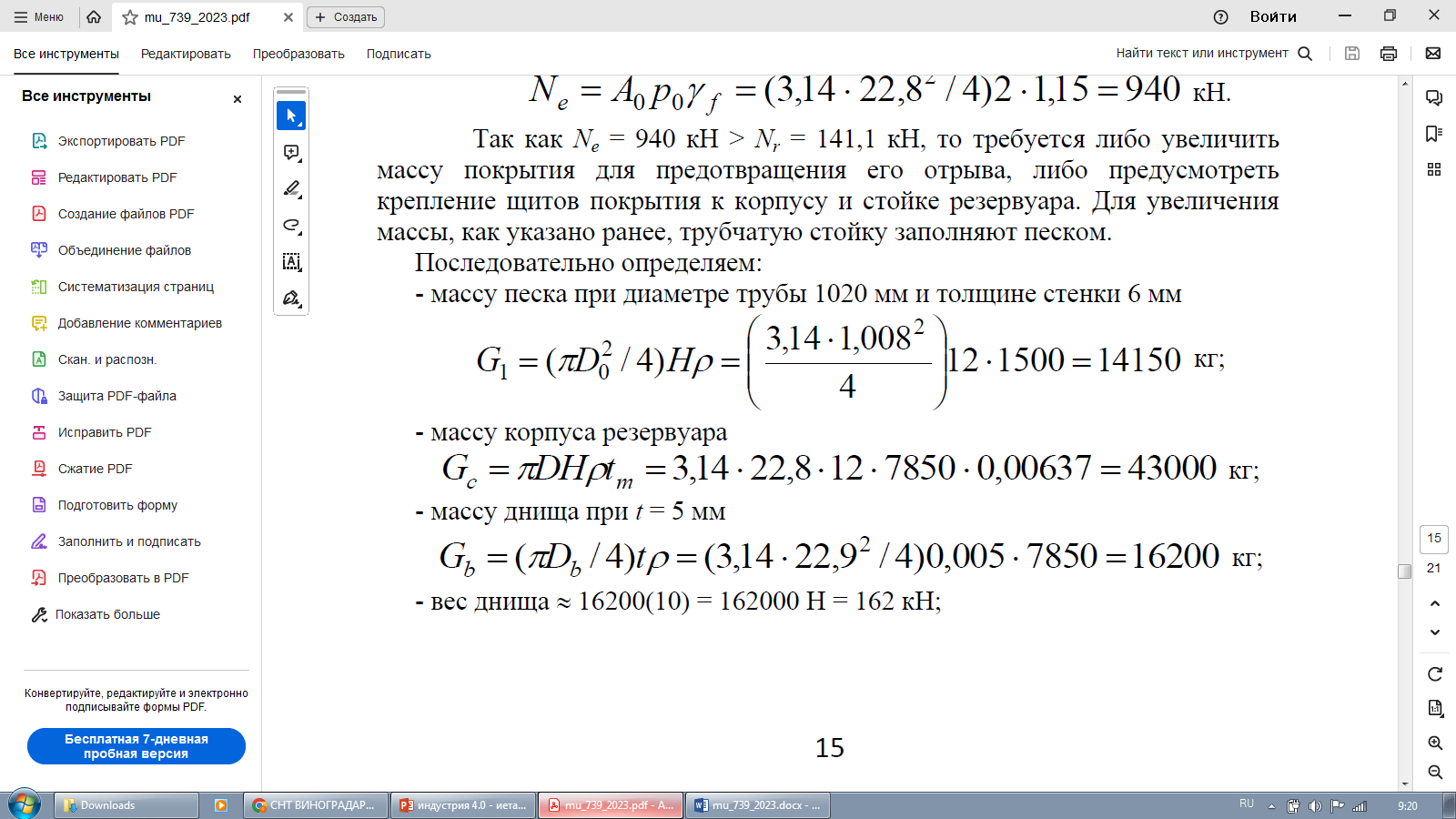
Усилие изнутри резервуара вверх при *p*0 = 2 кПа

*Ne* = *A*0*p*0γ*f* = (3,14·22,82 /4)2·1,15 = 940 кН.

Так как *Nе* = 940кН > *Nr* = 141,1кН, то требуется либо увеличить массу покрытия для предотвращения его отрыва, либо предусмотреть крепление щитов покрытия к корпусу и стойке резервуара. Для увеличения массы, как указано ранее, трубчатую стойку заполняют песком.

Последовательно определяем:

* массу песка при диаметре трубы 1020мм и толщине стенки 6мм



* массу корпуса резервуара

*Gc* =p*DH*ρ*tm* =3,14·22,8·12·7850·0,00637 = 43000кг;

* массу днища при *t* = 5мм

# *Gb* = (p*Db* /4)*t*ρ= (3,14·22,92 /4)0,005·7850 =16200кг;

- вес днища ≈ 16200(10) = 162000Н = 162кН;

* массу поясов жесткости и аппаратуры (по проекту) ≈ 2 т;
* общую массу резервуара (ориентировочно):

*Gr* =*N*+*G*1 +*Gc* +*Gb* + 2=16+14,15+ 43+16,2+ 2= 91,35т;

* усилие отрыва корпуса от днища

*Nd* = *Ne* - (*Gr* - *Gb*) = 940 - (913,5 -162) =188,5кН.

Проверяем напряжение в швах, прикрепляющих нижний пояс стенки к днищу, при действии усилия отрыва

σ= *Nd* / *Aw* =188500/5000 =37,6 Н/см2 (0,376 МПа) <

<γ*сRwf*γ*wf* = 0,8·180·1=144 МПа,

где *Aw* = 2p*D*(γ*f k f* ) = 2·3,14·2280·0,7·0,5 = 5000см2;

*kf* = 5мм, с двух сторон пояса (толщину шва принимают равной не более меньшей толщины свариваемых листов).

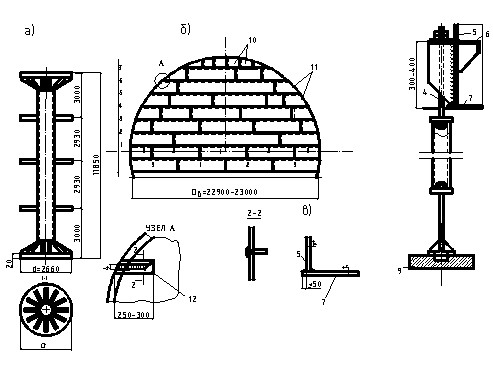


Рис. 6. Центральная стойка и днище резервуара

а – стойка; б – план днища; в – соединение стенки с днищем; г – крепление нижней части резервуара анкерами; 1-3 – полосы полотнища днища; 4 – анкерный болт;

5 – стенка резервуара; 6 – кольцо жесткости; 7 – днище; 8 – стальная труба, в которую опускается анкерный болт 4 до окончания мотажа днища; 9 – железобетонная плита или блок в грунте; 10 – окрайки поперечные; 11 – то же, продольные; 12 – подкладка

Анкерные болты для крепления нижнего пояса резервуара к заглубленным железобетонным плитам по расчету не требуются. Стойку крепят к днищу анкерами или приваривают по контуру опорного кольца.

При внутреннем избыточном давлении в резервуаре более 2кПа необходимо крепить нижний пояс стенки к заглубленным в грунт железобетонным плитам или блокам анкерными болтами (см. рис. 6, г). Число болтов определяют расчетом на растяжение по усилию отрыва стенки от днища (обычно 4-6 болтов, равномерно расположенных по контуру нижнего пояса стенки резервуара).

*Проверку устойчивости формы оболочки (корпуса) резервуара* при

совместном действии вертикальных и горизонтальных (боковых) сжимающих усилий выполняют согласно рекомендации п. 8 СП 16.13330.2017 по формуле

σ1/ σ*cr*1 + σ2 / σ*cr*2 ≤γ*c*,

где σ1, σ2 – соответственно абсолютные значения расчетных продольного и кольцевого сжимающих напряжений; σcr1, σcr2 – соответственно нижние критические напряжения при раздельном равномерном действии осевого и радиального сжатия; γс = 1 (если нет других указаний).

Проверяем устойчивость формы резервуара для пятого пояса, где толщина *t* = 5мм. Для этого вычисляем:

* продольное сжимающее напряжение от расчётных нагрузок

σ1 = *N* / *A*=869000/3580 = 243Н/см2 = 2,43МПа, где *N* = *Ac* (*g* + *p*) + *G*0*w*γ*f* = 306·2,263 +169·1,05 = 869кН;

*Ac* = (p/4)(*D*2 - *d*12) = (3,14/4)(22,82 -11,42) = 306м2;

*d*1 = 0,5*D* = 0,5·22,8 = 11,4м;

*A* = p *Dt* =3,14·2280·0,5=3580 см2 = 0,385м2;

*G*0*w* = *A*6ρ= 0,358·6·7850 = 16900кг = 169кН;

* кольцевое сжимающее напряжение при вакууме *pv* =250Па

σ2 = *pvr*/*t* =0,25·1140/0,5=57Н/см2 = 0,57МПа.

Определяем критические напряжения (по п. 8 СП 16.13330.2017) при осевом сжатии:

σcr1 принимаем равной меньшей из величин:

# σ*cr*1 =y*R*;

# σ*cr*1 =*cEt*/*r* ,

где y*, с* – коэффициенты по табл. 2, при этом коэффициент

y = 0,97-(0,00025+0,95*Ry/E*)*r/t*, где *r/t* = 300. При *r/t* = 1140/0,5 = 2280 > 300 коэффициент y не учитывается, а коэффициент *с* = 0,0627 (по интерполяции): Тогда по формуле

σ*cr*1 = 0,0627·2,06·105 · 0,5/1140 = 5,7МПа;

* при радиальном сжатии от воздействия вакуума

(*pv* = 250Па);*H* /*r* = *L*/*r* =12/11,4 = 1,05 ;

* при 0,5 ≤ *L/r* ≤10 σ*cr2* определяют по формуле

σ*cr*2 = 0,55*E*(*r*/*L*)(*t*/*r*)3/2 =0,55·2,06·105(11,4/12)(0,5/1140)3/2 =1МПа.

Устойчивость проверяем по формуле:

σ1/σ*cr*1 +σ2 /σ*cr*2 = 2,43/5,7 + 0,57/1=0,996<γ*с* =1,

т.е. оболочка устойчива.

*Указания по изготовлению и монтажу резервуара*

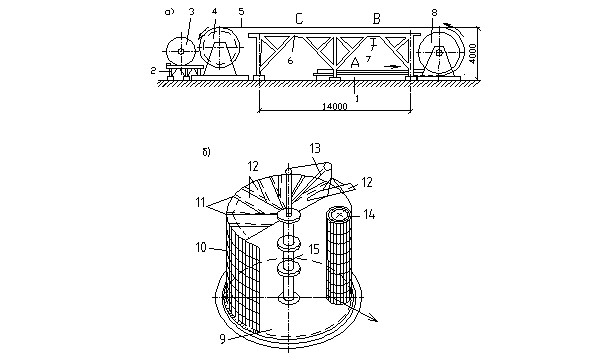


Рис. 7. Способы рулонирования и монтажа элементов резервуара, а – двухъярусный стенд для рулонирования стенки и днища; б – монтаж резервуара;

1 – стеллажи первого яруса; 2 – стеллаж для готового рулона; 3 – готовый рулон;

4 – силовое сворачивающее устройство; 5 – полотнище, готовое к рулонированию;

6 – стеллажи второго яруса для сварки полотнищ в отправочные марки и их

испытания; 7 – монорельс; 8 – барабан для подачи полотнищ на второй ярус;

9 – днище; 10 – корпус; 11 – косынки-фиксаторы; 12 – щит покрытия; 13 – подъемная стрела; 14 – шахта лестницы в качестве катушки рулона; 15 стойка;

А, В, С – рабочие зоны по сварке и испытанию поясов и полотнищ элементов резервуара

Конструктивные элементы резервуара (днище, стенку, щиты покрытия, стойку и шахтную лестницу) изготовляют на заводе и доставляют на место строительства в виде укрупненных элементов. Днище сваривают из полос и разбивают на два элемента – половины днища. Стенку также сваривают из ранее подготовленных полос, а затем (при *t* ≤ 11мм) сворачивают на стенде в рулон вокруг стойки или шахтной лестницы и в таком виде доставляют на стройку (рис. 7). Аналогично доставляют и половины днища (схемы раскладки полос днища показаны на рис. 6, б). Половины днища соединяют внахлестку. После монтажа днища в центре устанавливают вертикально рулон корпуса и с помощью специального устройства разворачивают до заданного диаметра см. (рис. 7, б). Стык корпуса также выполняют внахлестку. Щиты покрытия укладывают на зонт стойки и стенку резервуара по мере разворачивания рулона корпуса. Для фиксирования положения на внешней стороне щитов предусматривают ловители из полосовой стали (см. сечение 1-1 на рис. 5). После приварки стенки к днищу и устройства всех монтажных швов корпуса проверяют качество сварки физическими или химическими способами, обеспечивая непроницаемость соединений.

**Контрольные вопросы и задания**

1. Стали, марки, наименования по ГОСТ 27772-88\*

2. Предельные состояния, прочность, деформативность

3. Соединения МК: сварные, болтовые. Конструирование, основы расчета

4. Элементы балочных конструкций, основы расчета прокатных балок

5. Узловые соединения балок, порядок расчета

6. Сплошные и сквозные центрально-сжатые колонны. Основы расчета, понятие о равноустойчивости

7. Узлы колонн и их соединений с балками. Основы конструирования и расчета

8. Стропильные фермы, очертания, схемы решеток, типы поперечных сечений элементов, узлы, основы расчета

9. Системы покрытий из ферм, связи по покрытию, назначение продольных и поперечных связей

10. Каркасы одноэтажных промзданий, элементы и их назначение

11. Внецентренно сжатые колонны поперечных рам одноэтажных промзданий, их виды и особенности расчета и конструирования

12. Основные конструктивные узлы поперечных рам одноэтажного промздания

13. Особенности расчета подкрановых конструкций

14. Рамные и структурные конструкции полной заводской готовности, осо-бенности конструирования и расчета

15. Большепролетные плоскостные конструкции: рамы, арки. Особенности конструирования и расчета

16. Висячие конструкции, их виды, особенности расчета

17. Листовые конструкции, номенклатура, особенности расчета

18. Высотные здания и сооружения, схемы, узловые соединения, нагрузки

Литература

1. Лессиг Е.Н., Лилеев А.Ф., Соколов А.Г. Листовые металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1970.

1. Металлические конструкции. В 3т. Т.3. Специальные конструкции и сооружения / под ред. В.В. Горева. – М.: Высшая школа, 2005.
2. Металлические конструкции. В 3т. Т.2. Стальные конструкции зданий и сооружений: справочник проектировщика / под общ. ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова) – М.: Изд-во АСВ, 1998.
3. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции.
4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.

Таблица 2

Значение коэффициентов y и *с* для проверки цилиндрических оболочек

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Расчётное сопротивлени е стали Ry,  МПА |  |  | | | *r/t* | | | | | | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| 0 | 25 | | 50 | | 100 | | 200 | | 300 | | 400 | | 600 | | 800 | | 1000 | | 1500 | | 2500 | |
|  |  | | | | Коэффициенты y | | | | | | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| 200  240  280  320  400  520  600 | 0,97  1  0,97  1  0,97  1  0,97  1  0,97  1  0,97  1  0,97  1 | | | 0,941  0,936  0,931  0,927  0,918  0,903  0,895 |  | 0,911  0,902  0,893  0,883  0,865  0,838  0,819 | | 0,853  0,834  0,816  0,797  0,760  0,705  0,668 | | 0,735  0,698 0,66  0,625  0,551 0,44  0,367 | | 0,618  0,563  0,508  0,452  0,342  0,176  0,065 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | | | | Коэффициенты *с* | | | | | | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| Независимо от марки стали |  | |  | |  | | 0,22 | | 0,18 | | 0,16 | | 0,14 | | 0,11 | | 0,09 | | 0,08 | | 0,07 | | 0,06 | |

Примечания:

1. Приведенные значения y и *с* действительны для конструкций, выполненных в соответствии с требованиями по изготовлению и монтажу стальных конструкций.

2. Коэффициенты y вычислены по формуле (100) СП 16.13330.2017: y = 0,97-(0,00025+0,95Ry/E) r/t, где 0<r/t<300,

E=2,06·105МПа. Для других значений Ry коэффициент y вычислять по формуле СП 16.13330.2017.