

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ЕМКОСТЬЮ 6,5 тыс. т



**А.В. Шимановский**  
генеральный директор  
ООО «Укринсталькон  
им. В.Н. Шимановского»,  
член-корреспондент НАН Украины,  
заслуженный деятель науки и техники  
Украины, д.т.н., профессор



**Л.В. Заярный**  
главный конструктор  
по железобетонным конструкциям  
ПАО «ДИОС», г. Донецк



**В.В. Кириллов**  
директор Мариупольского  
комплексного отделения  
ООО «Укринсталькон  
им. В.Н. Шимановского»



**А.Ю. Разумов**  
директор по производству  
ПАО «ДИОС», г. Донецк



**В.Д. Белогуров**  
главный инженер Мариупольского  
комплексного отделения  
ООО «Укринсталькон  
им. В.Н. Шимановского»



**Д.А. Курочкин**  
главный конструктор  
по строительным конструкциям  
ПАО «ДИОС», г. Донецк



**Р.З. Уманский**  
генеральный директор  
ПАО «ДИОС», г. Донецк



**Р.Я. Святун**  
начальник строительного отдела  
ПАО «ДИОС», г. Донецк

Украина занимает одно из лидирующих мест в мире по производству и экспорту подсолнечного масла, который в настоящее время составляет около 4 миллионов тонн. Для его хранения необходима развитая инфраструктура в непосредственной близости к морским портам. Исходя из динамики роста экспорта в 2013 г. компания ООО «Евро Ойл» приняла решение о строительстве склада масла в Мариупольском морском порту с возможностью его погрузки в танкеры.

Генеральным проектировщиком выступил Донецкий проектный институт ПАО «ДИОС». Проектом было предусмотрено строительство следующих объектов: наливной причал в порту, склад масла емкостью 26000 т, автомобильные весы ВС-60000А/18 г/п 60 т, насосная станция противопожарного водоснабжения, насосные

станции для слива масла из автотранспорта, операторские автомобильных весов, сливная эстакада на шесть железнодорожных цистерн, сливно-наливные эстакады на одну автоцистерну, а также бытовые помещения и резервуары запаса воды.

Параметры склада масла были определены на основании экономической составляющей проекта и максимального сокращения времени загрузки танкера маслом.

В связи со стесненными условиями площадки строительства проектируемый склад имеет ограниченные размеры в плане. После проработки различных технологических схем и определения требуемой вместимости резервуара 6500 т, на этапе предварительных расчетов были приняты следующие геометрические размеры:

диаметр по внутренней грани стенки – 17100 мм и высота стенки 32060 мм, геометрический объем резервуара – 7374 м<sup>3</sup>, полезный объем – 7065 м<sup>3</sup>, т.е. геометрические размеры резервуара были приняты с отступлением от параметров, рекомендуемых ДСТУ Б В.2.6-183:2011 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов», согласно п. 4.7 которого резервуары такого объема относятся к III-му классу опасности.

Склад подсолнечного масла состоит из четырех основных резервуаров для хранения масла и одного резервного внутри железобетонной чаши (рис. 1) – монолитной конструкции из бетона С25/30 с переменной толщиной стены от 500 до 250 мм и высотой 6,4 м. По всему периметру стены выполнен проход шириной 600 мм с металлическим ограждением высотой 1100 мм. Дно чаши, которое одновременно является фундаментом под резервуары, представляет собой плиту переменной толщины 1500 мм под резервуарами и 500 мм – на остальной площади. Основанием плиты служит грунт, усиленный цементацией по буросмесительному методу. Выбор основания приведен в отдельной работе [1].

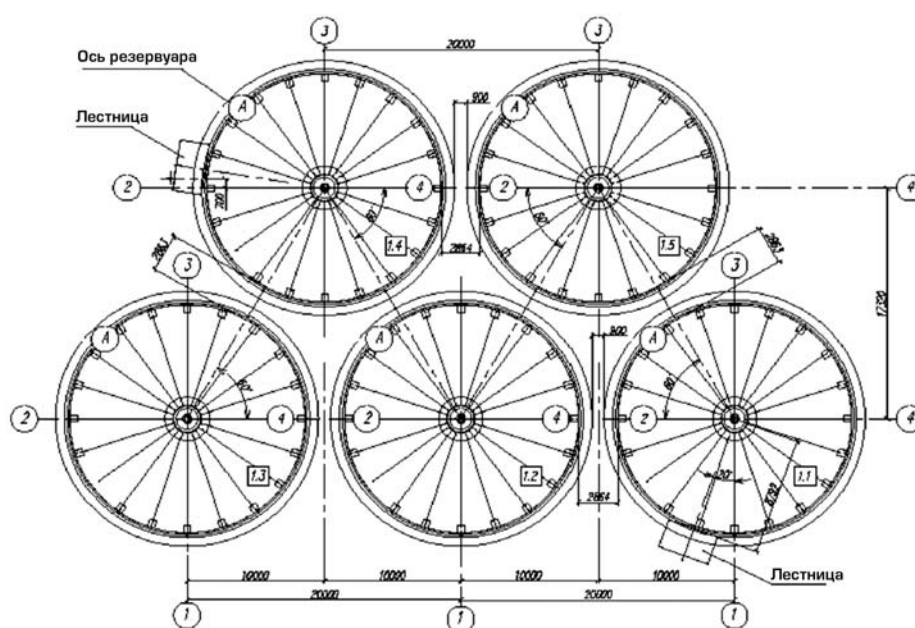
Склад масла является объектом повышенного уровня ответственности (его разрушение может привести не только к развалу транспортной инфраструктуры порта, но и к экологическому бедствию в бассейне Азовского моря). Инженерно-геологические условия представлены

неоднородными грунтами, в состав которых входят водонасыщенные текучие илы. Площадка строительства, расположенная в г. Мариуполе, характеризуется интенсивностью сейсмического воздействия 7 баллов с учетом грунтовых условий.

Проектируемый склад согласно ДБН В.1.2-5:2007 «Научно-техническое сопровождение строительных объектов» относится к категории объектов, требующих научно-технического сопровождения на этапе проектирования и строительства. Научно-техническое сопровождение на этапе проектирования осуществлялось Мариупольским комплексным отделением ООО «Украинский институт стальных конструкций имени В.Н. Шимановского» по отдельному договору с ПАО «ДИОС».

Следует отметить, что надежность и прочность резервуаров зависит от правильного выбора исходных данных при проектировании, принятых для расчета прочностных характеристик конструкций, обеспечения оптимального технологического режима эксплуатации, защиты металлоконструкций от коррозии, а также от выполнения монтажа с учетом строгого соблюдения требований проекта производства работ, допусков, устанавливаемых соответствующими нормативными документами или проектом.

Резервуары соединены металлическими переходными площадками на отм. +33.000, подъем на которые осуществляется через две шахтные лестницы маршевого типа.



Показатели резервуара

Наименование	Величина	Примечание
Геометрическая емкость, м <sup>3</sup>	7323,0	
Полезная емкость, м <sup>3</sup>	7065,0	
Площадь зеркала масла, м <sup>2</sup>	230	
Расчетный уровень налива масла, м	30,72	
Объемный вес хранимого продукта, т/м <sup>3</sup>	0,92	
Масса хранимого продукта, т	6500	

Рис. 1. Схема расположения резервуаров

Сложность разработки конструктивных элементов резервуара была вызвана следующими факторами:

- значительной высотой резервуара;
- рядом конструктивных и технологических ограничений и большим количеством отверстий для труб в нижних поясах;
- непосредственной близостью к морю;
- невозможностью размещения в плане резервуаров с размерами, рекомендуемыми нормативной документацией, а также необходимостью поиска оптимального соотношения диаметра и высоты для удовлетворения технологических потребностей по объему хранимого продукта;
- тяжелыми условиями эксплуатации.

В силу того что расстояние между резервуарами сокращено из-за стесненных условий строительства, а высота стенки равна 32,06 м, единственным способом монтажа может быть только полистовая сборка. Следовательно, все швы должны выполняться при монтаже. Чтобы свести их количество к минимуму, было принято решение использовать при проектировании резервуара максимально возможно большие размеры листов: для стенки – 2×8 м, для центральной части – 2,5×6 м, для окраек днища – 1,5×6 м. Применение для окраек больших листов привело бы к значительному перерасходу металла на отходы.

Благодаря предусмотренным компенсирующим противопожарным мероприятиям разрывы между резервуарами были сокращены и согласованы с Главным управлением Гостехнобезопасности в Донецкой области. Стадия

«Проект» получила положительное заключение Укрросстройэкспертизы.

Расчет резервуара, учитывая сложность конструкции, а также ряд технологических ограничений, выполнялся в две стадии.

На *первой* предварительно определялись усилия и толщины стенки в соответствии с ДСТУ Б В.2.6-183:2011 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов» [2]. В связи с отсутствием украинских утвержденных методик, ручной расчет на сейсмические воздействия производился согласно методике, приведенной в СН РК 3.05-24-2004 «Инструкция по проектированию, изготовлению и монтажу вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов» (Республика Казахстан).

На *второй* стадии выполнялся проверочный расчет на программном комплексе SCAD.

Комбинации загружений, на которые проводился расчет, представлены в таблице 1.

Нормативные и расчетные значения нагрузок для каждого расчетного сочетания нагрузок приведены в таблицах 2–5.

Расчет резервуара на сейсмическое воздействие производился на основании исходных данных, приведенных в таблице 6.

Расчетный период повторяемости землетрясения заданной интенсивности принят равным 5000 лет исходя из расположения резервуаров вблизи моря. Ввиду отсутствия экспериментальных данных, коэффициент вертикального сейсмического ускорения принят равным  $A_v = 0,5 A_h$ .

Таблица 1

Вид нагрузки	Расчетные сочетания нагрузок			
	Сочетание 1	Сочетание 2	Сочетание 3	Сочетание 4
	Условия эксплуатации	Гидравлические испытания	Условия землетрясения	Устойчивость пустого резервуара
Вес продукта (или воды при гидравлических испытаниях)	+	+	+	–
Вес конструкций и теплоизоляции	–	–	+	+
Избыточное давление	+	+	+	–
Вакуум при опорожнении	–	–	–	+
Ветровая нагрузка	–	–	–	+
Вес снегового покрова	–	–	+	+
Сейсмическая нагрузка	–	–	+	–

Таблиця 2

Вид нагрузки	Обозначение нормативного значения нагрузки	Расчетное сочетание нагрузок 1 (условия эксплуатации)		
		Коэффициент сочетаний	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетное значение нагрузки
Удельный вес продукта, кН/м <sup>3</sup>	$p \times g = 0,92 \times 9,8$	1,0	1,05	$1,05 p \times g$
Избыточное давление, кПа	$p_{изб}$	1,0	1,2	$1,2 p_{изб}$

Таблиця 3

Вид нагрузки	Обозначение нормативного значения нагрузки	Расчетное сочетание нагрузок 2 (условия гидравлических испытаний)		
		Коэффициент сочетаний	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетное значение нагрузки
Удельный вес воды, используемой для гидравлических испытаний, кН/м <sup>3</sup>	$p_r \times g = 1,0 \times 9,8$	1,0	1,0	$1,0 p_r \times g$
Избыточное давление, кПа	$p_{изб} = 2$	1,0	1,2	$1,2 p_{изб}$

Таблиця 4

Вид нагрузки	Обозначение нормативного значения нагрузки	Расчетное сочетание нагрузок 3 (условия землетрясения)		
		Коэффициент сочетаний	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетное значение нагрузки
Удельный вес продукта, кН/м <sup>3</sup>	$p \times g = 0,92 \times 9,8$	1,0	1,0	$1,0 p \times g$
Вес стенки и крыши, кН	$G_1$	1,0	1,05	$1,05 G_1$
Вес стационарного оборудования, кН	$G_2$	0,95	1,05	$G_2$
Избыточное давление, кПа	$p_{изб} = 2$	0,95	1,2	$1,14 p_{изб}$
Снеговая нагрузка, кПа	$S = 1,38$	0,9	1,04	$0,936 s$
Сейсмическая нагрузка, кПа	–	1,0	1,0	–

Таблиця 5

Вид нагрузки	Обозначение нормативного значения нагрузки	Расчетное сочетание нагрузок 4 (устойчивость пустого резервуара)		
		Коэффициент сочетаний	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетное значение нагрузки
Вес стенки и крыши, кН	$G_1$	1,0	1,05	$1,05 G_1$
Вес стационарного оборудования, кН	$G_2$	0,95	1,05	$G_2$
Вакуум при опорожнении резервуара, кПа	$p_{вак} = 0,25$	0,95	1,2	$1,14 p_{вак}$
Ветровая нагрузка, кПа	$w_0 = 0,6$	0,9	0,5	$0,45 k w_0$
Снеговая нагрузка, кПа	$S = 1,38$	0,9	1,04	$0,936 f_s s$

Таблиця 6

Наименование	Единица измерения	Обозначение
Коэффициент горизонтального сейсмического ускорения	доли от $g = 9,8 \text{ мм/с}^2$	$A_H = 0,1$
Коэффициент вертикального сейсмического ускорения	доли от $g = 9,8 \text{ мм/с}^2$	$A_V = 0,05$
Расчетный период повторяемости землетрясений заданной интенсивности	годы	5000
Категория грунта по сейсмическим свойствам в соответствии с классификацией ДБН В.1.1-12:2006	–	III

В процессе расчета на сейсмические воздействия проверялась прочность и устойчивость нижнего пояса; определялись реакции в основании резервуара в процессе землетрясения; рассчитывалась необходимость установки анкерных болтов; определялись минимальные толщины стенки резервуара при действии сейсмических нагрузок и максимальные высоты заполнения резервуара, с учетом высоты волны на поверхности продукта в процессе землетрясения исходя из условия

$$H_э + \Delta H + d_{\max} < H,$$

где  $H_э$  – проектный уровень налива продукта, м;  $H$  – высота стенки, м;  $d_{\max}$  – высота волны на поверхности продукта, м.

На этапе проектирования при проведении научно-технического сопровождения выполнялись проверочные и дублирующие расчеты резервуара, определялись степень и вид агрессивности морской воздушной среды, предоставлялись информационные услуги по конструктивным решениям.

В результате была разработана конструкция резервуара, имеющая следующие характеристики:

- Толщины поясов:

1 пояс . . . . .	18 мм, С345;
2 пояс . . . . .	16 мм, С345;
3, 4 пояса . . . . .	14 мм, С345;
5, 6, 7 пояса . . . . .	12 мм, С345;
8, 9, 10, 11 пояса . . . . .	10 мм, С345;
12, 13, 14, 15, 16 пояса . . . . .	8 мм, С255.

При этом пояса стенки с 1 по 11 приняты из низколегированной стали, что позволило значительно уменьшить толщину стенки и металлоемкость. Впрочем уменьшение толщин повлияло на устойчивость стенки, поэтому возникла необходимость в дополнительных кольцах жесткости: на расстоянии 5050 мм от верха резервуара и 150 мм ниже поясов толщиной 8 мм. Этого оказалось достаточно, однако, учитывая высоту резервуара, были установлены еще два дополнительных кольца на расстоянии 5970 мм между ними. Расстояние от низа резервуара до нижнего кольца жесткости – 9800 мм. Принятая схема резервуара приведена на рис. 2.

- Вертикальные стыки поясов смещены относительно друг друга в соседних поясах на половину длины царг таким образом, чтобы через пояс стыки были на одной вертикали, причем вертикальные стыки первого пояса

смещены относительно стыков окраек не менее чем на 200–250 мм.

- Днище резервуара, кроме окраек, выполнено из стали С255 толщиной 5 мм. В связи с листовым методом изготовления габаритные марки сварены внахлестку, а стыки расположены вразбежку. Окрайки выполнены из листов стали С345 по ГОСТ 27772-88 толщиной 16 мм.
- Для восприятия сейсмических воздействий установлены анкерные болты по периметру резервуара через 1,5 м. Усилие, воспринимаемое болтами, передается через кольцевую анкерную плиту толщиной 30 мм из стали С345 согласно ГОСТ 27772-88. Узел анкерного крепления показан на рис. 3.

В связи с возникновением зон возмущения краевого эффекта от кольцевой анкерной плиты и от сопряжения стенки резервуара с окрайкой днища и для исключения их взаимного влияния, высота расположения кольцевой анкерной плиты от днища должна составлять не менее 600 мм. Поскольку по технологической схеме на этом уровне размещаются трубы для забора масла, было принято решение анкерное кольцо разместить по высоте между двумя трубами на расстоянии 740 мм от днища. Усиливающие накладки патрубков были доведены до анкерного кольца и окрайки днища (рис. 4). Такое расположение позволило обеспечить прочность резервуара и надежность узла всаса, несмотря на отступление от норм по минимальному расстоянию между патрубками и усиливающими накладками.

- Крыша стационарная, собираемая из 20 крупногабаритных щитов заводского изготовления, опирающихся на центральное кольцо покрытия и на стенку резервуара. Уклон кровли 1:8.

Кроме того были учтены следующие дополнительные требования к монтажу резервуаров:

– «Предельные отклонения от вертикали образующей стенки принять  $1/300 H$ , где  $H$  – расстояние от днища до точки измерения» (изменен п. 3 табл. 13 ДСТУ Б В.2.6-183:2011, где указано  $1/200 H$ );

– «Вертикальные сварные соединения первого пояса подлежат физическому контролю 100 %» (остальные – согласно табл. 20 ДСТУ Б В.2.6-183:2011).

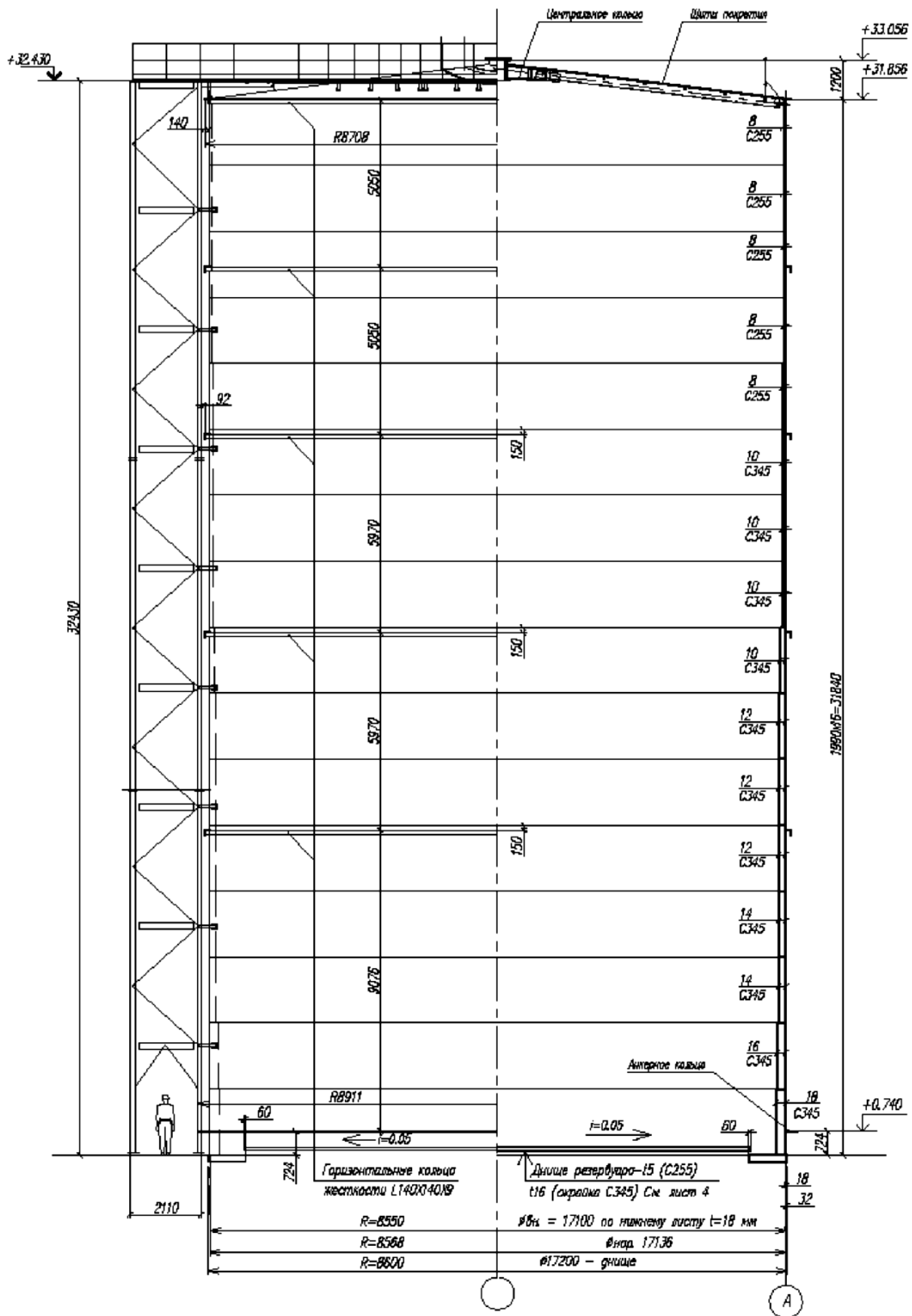


Рис. 2. Схема резервуара

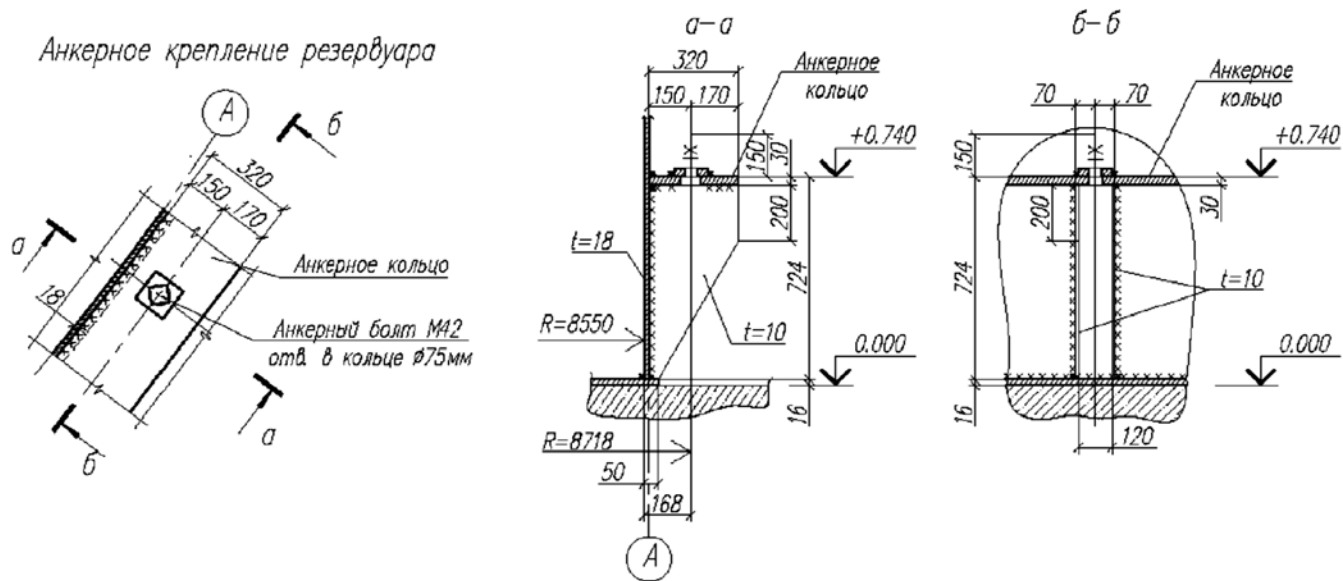


Рис. 3. Анкерное крепление

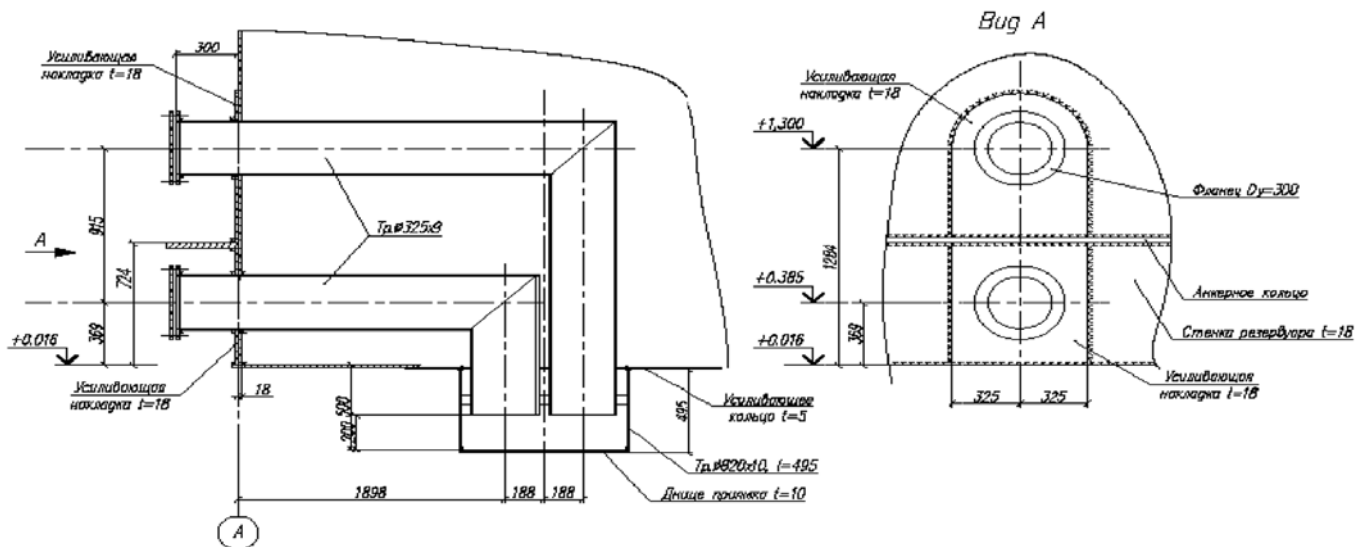


Рис. 4. Узел всаа У

- После детального изучения условий эксплуатации и химического состава воздушной среды были приняты следующие степени коррозионной агрессивности среды для металлических конструкций в соответствии с разделом 5 ДСТУ Б В.2.6-193:2013:

– Внутренняя поверхность верхнего пояса и кровли резервуара (паровоздушная среда) А3 – низкоагрессивная (В3 – среднеагрессивная по СНиП 2.03.11-85, С4 – высокая по ISO 12944).

– Внутренняя поверхность стенки резервуара (масло): А2 – слабоагрессивная (В2 – слабоагрессивная по СНиП 2.03.11-85, С3 – средняя по ISO 12944).

– Внутренняя поверхность нижнего пояса и дна резервуара (подтоварная вода, масло, блуждающие токи): А4 – высокоагрессивная (В3 – по СНиП 2.03.11-85, С5-1 – очень высокая по ISO 12944).

– Наружная поверхность стенки и кровли резервуара (промышленная, морская среда): А4-М – высокоагрессивная (В3 – среднеагрессивная по СНиП 2.03.11-85, С5-М – очень высокая по ISO 12944).

Требования по долговечности стальных конструкций и их защитных покрытий установлены согласно ДБН В.1.2-14-2009, табл. 2), меры первичной и вторичной защиты – ДСТУ Б В.2.6-193:2013, табл. К1).

Система противокоррозионной защиты стальных конструкций резервуара разработана для уровня коррозионной опасности К1 (ДСТУ Б В.2.6-193:2013, табл. 8).

Безопасность и надежность объектов в течение установленного срока эксплуатации обеспечивается с учетом заданных категорий ответственности конструкций и их защитных покрытий:

1. Категория ПЗ для наружной поверхности конструкций кровли и стенки резервуара допускает снижение защитных свойств вторичной защиты.

2. Категория П4 для конструкций наружной поверхности днища и внутренней поверхности кровли, стенки и днища резервуара допускает снижение защитных свойств первичной защиты.

В процессе проектирования рассматривались два варианта системы антикоррозионной защиты.

*Вариант 1.* Стальные конструкции и кровля резервуара покрываются протекторным составом ZINTEC®. Внутренняя поверхность днища – одним слоем рулонного материала «Техно Пласт» – FIBAROLL (стандартный) толщиной 1200 мкм. Для наружной поверхности днища применяется гидрофобизирующее основание.

*Вариант 2.* Внутренние поверхности обрабатываются двумя слоями двухкомпонентного

фенолэпоксидного покрытия Интерлайн 850 с общей толщиной сухой пленки 270 мкм. Наружные поверхности резервуара – одним слоем двухкомпонентного модифицированного эпоксидного Интерсил 670 HS с толщиной сухой пленки 200 мкм, покрывной слой – акрилово-полиуретанового покрытия Интертейн 990 с толщиной сухой пленки 80 мкм. Для наружных и внутренних поверхностей днища используются кагодные станции.

Тем не менее на этапе окончательной выдачи проектной документации после изучения ценовых предложений антикоррозионных систем аналогичного качества окончательно была принята система с применением материалов бельгийской компании Sigma Coatings:


1. Наружные поверхности – один слой двухкомпонентного быстро сохнущего эпоксидного покрытия с фосфатом цинка Sigmafast 278 с толщиной сухой пленки 220 мкм, верхний слой – акрилово-полиуретановое покрытие Sigmadur 550 с толщиной сухой пленки 60 мкм.

2. Внутренние поверхности – два слоя двухкомпонентного эпоксидного покрытия Sigma-guard 720 с общей толщиной сухой пленки 250 мкм.

Степень абразивоструйной очистки поверхности для степени ржавости металла А, В Sa 2 1/2 согласно ISO 8501-1:2007, шероховатость 40–70 мкм.

[1] Усиление основания склада масла емкостью 26000 тонн в Мариуполе / М.Л. Зоценко, С.В. Шокарев, А.В. Шаповал, В.В. Гриценко, Р.Я. Святун / Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – Вип 1(46). – 319 с.

[2] Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов Общие технические условия: ДСТУ Б В.2.6-183:2011. – К.: Минрегион Украины, 2012. – 77 с.

Надійшла 15.08.2013 р. 

## **ВІТАЄМО ЛАУРЕАТІВ ПРЕМІЇ ІМЕНІ АКАДЕМІКА М.С. БУДНІКОВА**

Рішенням президії Академії будівництва України Премією імені академіка М.С. Буднікова нагороджено творчий колектив проектувальників ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського» та ПАТ «ДІОС», до складу якого ввійшли

**Шимановський О.В., Кириллов В.В., Белогуров В.Д., Уманський Р.З., Разумов А.Ю.,  
Зяярний Л.В., Курочкін Д.О.**

за роботу

**«Досвід науково-технічного супроводження та особливості проектування  
вертикальних сталевих резервуарів ємністю по 6,5 тис. тонн на об'єкті  
«Склад соняшникової олії ємністю 26000 тонн і наливний причал  
у Мариупільському торговельному порту»**

**В роботі вирішується ряд оптимальних та нестандартних новацій,  
що дають змогу отримати значний економічний ефект.**