

УДК 624.014

К ВОПРОСУ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОДОНАПОРНЫХ БАШЕН РОЖНОВСКОГО В КРЫМУ

Синцов А.В., Данченко Н.В., Синцов В.П.

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181
E-mail: sin59@bk.ru

Аннотация. Актуальность. В 2014 году Украина перекрыла северо-крымский водный канал, в результате чего возник дефицит водоснабжения населённых пунктов Крыма. Реальная перспектива для Крыма в вопросе снабжения водой - снабжение водой за счет подземных источников по данным правительства Крыма. Для поддержания давления и запаса воды в поселковых сетях водоснабжения применяются стальные водонапорные башни Рожновского.

Предмет исследования: Известны случаи разрушения таких сооружений в результате сейсмического воздействия вследствие потери местной устойчивости стенки. В этой связи возникла необходимость проверки водонапорной башни по ТП 901-5-53с.93 на расчетные нагрузки с учетом 8-ми бальной сейсмики.

Материалы и методы: ПК ЛИРА САПР позволяет получить картину распределения напряжений в элементах листовых конструкций. Для исследования поведения элементов башни под нагрузкой разработана пространственная компьютерная модель, составленная из конечных элементов – оболочки. В результатах расчета по расчетным сочетаниям нагрузок определены максимальные напряжения в конечных элементах водонапорной башни от комплекса нагрузок.

Результаты: В результате расчета на статическое и динамическое воздействие от внешних нагрузок получены деформированные схемы водонапорной башни, произведена проверка напряжений в элементах оболочек башни, получены результаты проверки местной устойчивости элементов водонапорной башни при действии сейсмических нагрузках. Результаты расчета представлены в виде мозаик главных (меридиональных и кольцевых) напряжений в элементах водонапорной башни и расчетных формул для проверки местной устойчивости элементов башни по методике СП 16.131330.

Выводы: Результаты исследований показали, что для обеспечения местной устойчивости ствола башни в зоне стыка конической и цилиндрической оболочек башни требуется установка дополнительного кольцевого ребра ниже зоны стыка в стволе башни на расстоянии до 4-х радиусов цилиндрической оболочки от зоны стыка.

Ключевые слова: водонапорная башня, конечный элемент, меридиональные и кольцевые напряжения, местная устойчивость.

ВВЕДЕНИЕ

В 2014 году, после присоединения Крыма к России, Украина, не признавшая произошедшую потерю территории, перекрыла канал, в результате чего дефицит водоснабжения населённых пунктов составил 260 млн м³ в год. Все большее количество потребителей в Крыму стали переводить на внутренние источники питьевого и технического водоснабжения [1].

Реальная перспектива для Крыма в вопросе снабжения водой - снабжение водой за счет подземных источников по данным правительства Крыма [2].

Для поддержания давления в поселковых сетях и обеспечения определенного объема запасов воды для организации водоснабжения поселков применяются стальные водонапорные башни Рожновского.

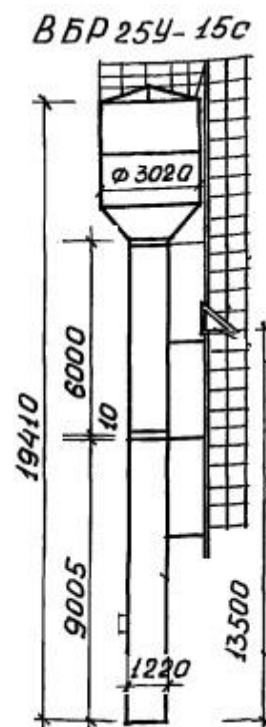


Рис. 1. Общий вид башни водонапорной Рожновского
Fig. 1. General view of the water tower of Rozhnovsky

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Водонапорная башня состоит из бака (резервуара) для воды, цилиндрической формы, и опорной конструкции (ствола). Регулирующая роль водонапорной башни заключается в том, что в часы уменьшения водопотребления избыток воды, подаваемой насосной станцией, накапливается в водонапорной башне и расходуется из неё в часы увеличенного водопотребления [7,8].

Учитывая, что большая часть территорий Крыма являются сейсмоопасными, то в таких случаях необходимо строить сейсмостойкие сооружения.

Существуют типовые решения сейсмостойких водонапорных башен Рожновского, которые были разработаны в Советском Союзе [5,9]. Однако известны случаи разрушения таких сооружений в результате сейсмического воздействия вследствие потери местной устойчивости стенки [3,4,6].



Рис. 2. Обрушение башни Рожновского вследствие потери местной устойчивости стенки

Fig. 2. Collapse of the Rozhnovsky tower due to the loss of local stability of the wall

В этой связи возникла необходимость проверки металлических конструкций водонапорной башни по ТП 901-5-53.С.93г [10] на расчетные нагрузки с учетом 8-ми бальной сеймики с использованием рекомендуемого для этих целей ПК ЛИРА САПР [11,12].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Проверка устойчивости элементов оболочек водонапорной башни проводилась по методике СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции», приведенной в разделе 11 «Расчет листовых конструкций» подраздел 2 «Расчет устойчивости».

Для исследования поведения элементов башни под нагрузкой была разработана пространственная компьютерная модель, составленная из конечных элементов - оболочки.

В результате расчета по расчетным сочетаниям нагрузок (РСН) определены максимальные

напряжения в конечных элементах водонапорной башни от комплекса нагрузок.

ПК ЛИРА САПР позволяет получить картину распределения напряжений в элементах листовых конструкций, каким и является башня Рожновского.

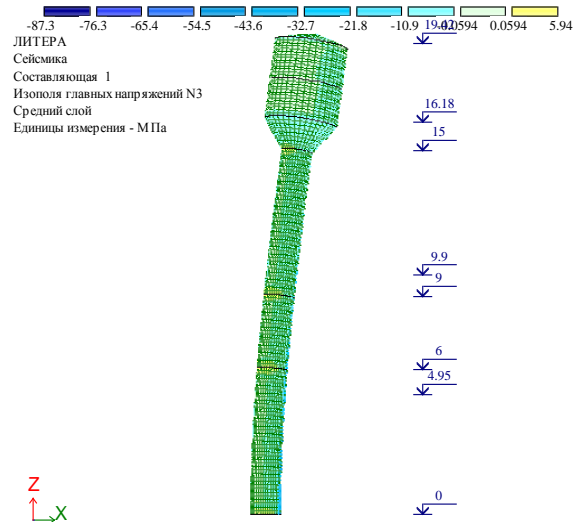


Рис.3. Главные меридиональные напряжения в элементах башни от сейсмического воздействия

Fig. 3. Main meridional stresses in tower elements from seismic impact

Вычисление напряжений по РСН производится непосредственным суммированием соответствующих перемещений узлов и напряжений в элементах по правилам, установленным нормативными документами (в отличие от вычисления РСУ, где в качестве критерия для определения опасных сочетаний используются экстремальные значения напряжений в характерных точках сечений элементов).

В результате расчета на статические и динамические воздействия от внешних нагрузок получены:

- деформированные схемы водонапорной башни;
- произведена проверка напряжений в элементах оболочек башни;
- получены результаты расчета по РСН для проверки местной устойчивости элементов оболочек водонапорной башни при действии динамических (сейсмических) нагрузок.

Результаты расчета представлены в виде мозаик главных (меридиональных и кольцевых) напряжений в элементах оболочек водонапорной башни от действия внешних нагрузок и собственного веса элементов башни показывающих уровень напряжений, которые не превышают расчетных сопротивлений стали принятой для элементов башни, а также в виде расчетных формул и таблиц по методике СП при расчете устойчивости элементов башни.

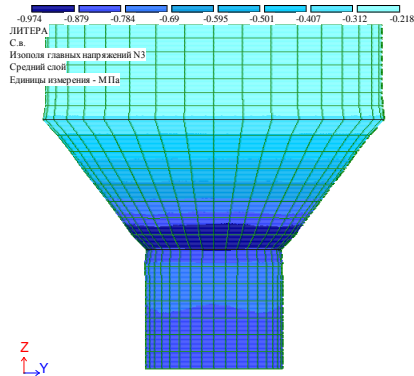


Рис. 4. Главные меридиональные напряжения в элементах в зоне перегиба от собственного веса
Fig. 4. The main meridional stresses in the elements in the inflection zone from their own weight

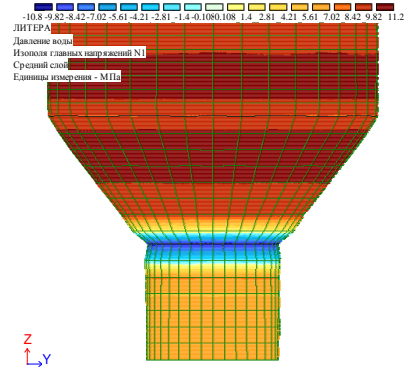


Рис. 7. Главные кольцевые напряжения в элементах башни в зоне перегиба от давления воды
Fig. 7. Main hoop stresses in tower elements in the bend zone due to water pressure

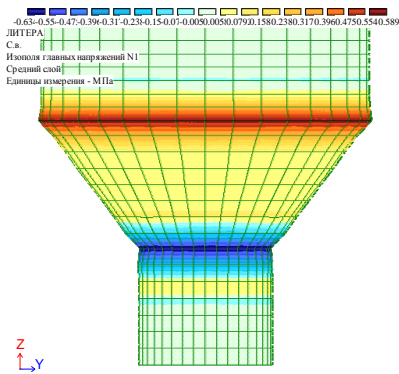


Рис. 5. Главные кольцевые напряжения в элементах башни в зоне перегиба от собственного веса
Fig. 5. The main hoop stresses in the tower elements in the bend zone due to their own weight

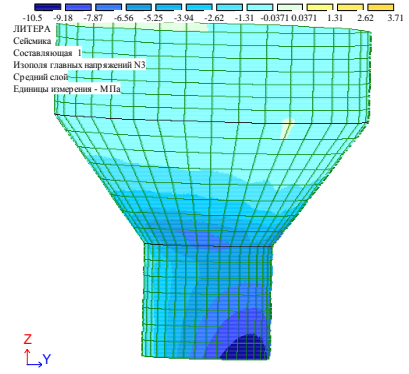


Рис. 8. Главные меридиональные напряжения в элементах башни в зоне перегиба от сейсмического воздействия
Fig. 8. The main meridional stresses in the elements of the tower in the bend zone from seismic action

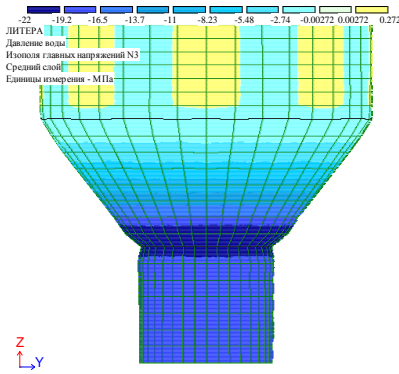


Рис. 6. Главные меридиональные напряжения в элементах башни в зоне перегиба от давления воды
Fig. 6. The main meridional stresses in the tower elements in the inflection zone due to water pressure

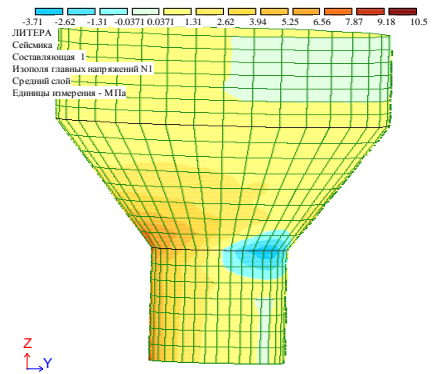


Рис. 9. Главные кольцевые напряжения в элементах башни в зоне перегиба от сейсмического воздействия
Fig. 9. Main hoop stresses in tower elements in the bend zone from seismic action

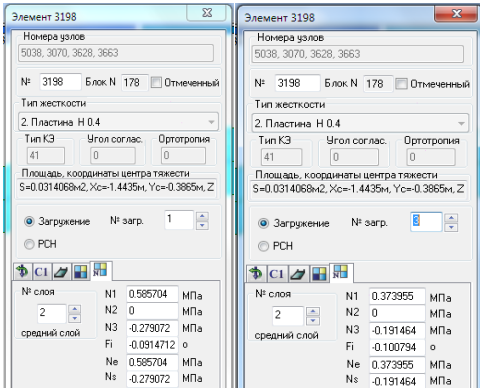


Рис. 10. Максимальные главные меридиональные и кольцевые напряжения в элементе № 3198 верхнего цилиндрического бака башни

Fig. 10. Maximum main meridional and hoop stresses in element No. 3198 of the upper cylindrical tank of the tower

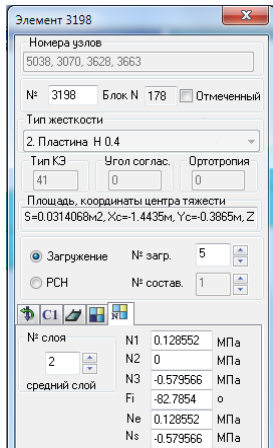


Рис. 11. Максимальные главные меридиональные и кольцевые напряжения в элементе № 3198 верхнего цилиндрического бака башни

Fig. 11. Maximum main meridional and hoop stresses in element No. 3198 of the upper cylindrical tank of the tower

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Расчет на устойчивость нижнего контура верхней части резервуара в месте стыка с конусной частью.

Расчет на устойчивость замкнутых круговых цилиндрических оболочек вращения, равномерно сжатых параллельно образующим, следует выполнять по формуле

Расчет на устойчивость замкнутых круговых цилиндрических оболочек вращения, равномерно сжатых параллельно образующим, следует выполнять по формуле

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr,1} \gamma_c} \leq 1 \quad (1)$$

где $\sigma_1 = 0,279+0,58+0,191= 1.05$ МПа расчетное сжимающие меридиональные напряжение в оболочке;

$\sigma_{cr,1}$ – критическое напряжение, равное меньшему из значений

$$\psi R_y = 0.453 \cdot 245 = 110.88 \text{ МПа или } cEt / r = 0,145 \cdot 206000 \cdot 4 / 1500 = 79,65 \text{ МПа} \quad (6.1.a.)$$

принимаем $\sigma_{cr,1} = 79,65$ МПа – критическое напряжение

здесь $r = 1500$ мм – радиус срединной поверхности оболочки;

$t = 4$ мм – толщина оболочки),

при $r / t = 1500/4=375 \leq 300$;

при $r / t > 300$ $\sigma_{cr,1} = c \times E \times t / r$.

Значения коэффициентов ψ при $0 < r / t \leq 300$ следует определять по формуле

$$\psi = 0,97 - \left(0,00025 + 0,95 \frac{R_y}{E} \right) \frac{r}{t} = 0,4 \quad (2)$$

Значения коэффициента c следует определять по таблице 1.

Таблица 1.
Table 1.

r / t	100	200	300	400	600	800	1000	1500	2500
c	0,22	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06

В случае внецентренного сжатия параллельно образующим или чистого изгиба в диаметральной плоскости при касательных напряжениях в месте наибольшего момента, не превышающих значения $0,07E(r/t)^{3/2}$, напряжение $\sigma_{cr,1}$ должно быть увеличено в $(1,1 - 0,1\sigma'_1/\sigma_1)$ раза, где σ'_1 – наименьшее напряжение (растягивающие напряжения считать отрицательными).

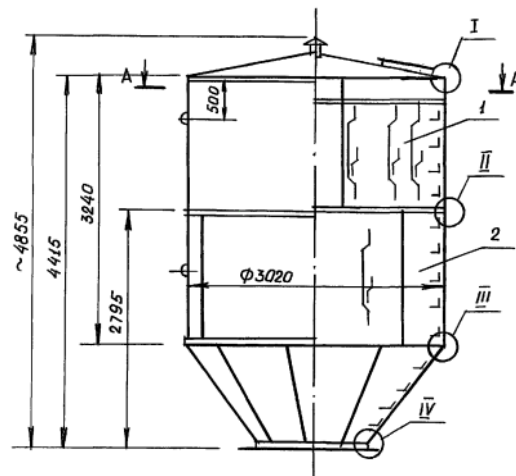


Рис. 12. Общий вид бака 25м³ башни Рожновского
Fig. 12. General view of the 25m³ tank of the Rozhnovsky tower

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr,1} \gamma_c} = 1,05/79,65/1,0 = 0,0132 < 1 \quad (4)$$

Устойчивость нижнего контура верхней цилиндрической части резервуара в месте стыка с конусной частью обеспечена.

Расчет на устойчивость конусной части

Расчет на устойчивость конической оболочки вращения с углом конусности $\beta \leq 60^\circ$, сжатой силой N вдоль оси (рис. 12), следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{N_{cr} \gamma_c} = 0,52/1766 = 0,0004 < 1, \quad (5)$$

где N_{cr} – критическая сила, определяемая по формуле

$$N_{cr} = 6,38 t \sigma_{cr,1} r_m \cos^2 \beta = 1766 \text{ кН}, \quad (6)$$

здесь $t = 4 \text{ мм}$ – толщина оболочки;

$\sigma_{cr,1}$ – значение напряжения, вычисленное согласно формулы 6 с заменой радиуса r радиусом r_m , равным

$$r_m = \frac{0,9 r_2 + 0,1 r_1}{\cos \beta} = (0,9 \cdot 1500 + 0,1 \cdot 610) / \cos 37,024^\circ = 1767 \text{ мм}. \quad (7)$$

$r_2 = 1500 \text{ мм}$ – больший радиус;

$r_1 = 610 \text{ мм}$ – меньший радиус.

$\beta = 37,024^\circ$ – угол наклона конуса к вертикали, $\cos 37,024^\circ = 0,7984$.

$\sigma_{cr,1} = cEt / r = 0,13385 \cdot 206000 \cdot 4 / 1767 = 62,42 \text{ МПа}$ – критическое напряжение,

здесь $r_m = 1767 \text{ мм}$ – радиус срединной поверхности оболочки;

$t = 4 \text{ мм}$ – толщина оболочки) при $r/t = 1767/4 = 441 > 300$; $c = 0,13385$.

Наиболее напряженное сечение в конусной оболочке – нижнее, к которому примыкает цилиндрическая нижняя опора радиусом 610 мм. Для расчетов устойчивости рассматриваем элемент № 2961.

В таблице 2:

N_x – кольцевые напряжения в Па, соответствуют σ_2 ,

N_y – меридиональные напряжения в Па соответствуют σ_1 .

Для дальнейших расчетов принимаем сочетание № 3:

$\sigma_2 = 9,722 \text{ МПа}$, $\sigma_1 = 26 \text{ МПа}$.

Тогда, продольную сжимающую силу в элементе определим по формуле

$$N = \sigma_1 / A = 26 / 10 / 0,4 / 12,7 = 0,52 \text{ кН}.$$

Расчет на устойчивость конической оболочки вращения при действии внешнего равномерного давления p , нормального к боковой поверхности, следует выполнять по формуле

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,2} \gamma_c} \leq 1, \quad (7)$$

здесь $\sigma_2 = 9,722 \text{ МПа}$ – расчетное кольцевое напряжение в оболочке;

Таблица 2. Комбинации расчетных напряжений в элементе № 2961

Table 2. Combinations of design stresses in element No. 2961

Башня основная схема	
НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ	
44	2921-1
	2890
	2902
1 (I)	1
NX	-8764.2
NY	-26754.
TXY	243.97
MX	.00152
MY	.00766
MXY	-.00003
QX	-.00858
QY	-.38362
2 (I)	2
NX	-6852.7
NY	-21105.
TXY	116.80
MX	.00124
MY	.00611
MXY	-.00000
QX	-.00672
QY	-.30352
3 (I)	3
NX	-9722.8
NY	-26000.
TXY	7043.6
MX	.00206
MY	.00882
MXY	.00090
QX	-.00959
QY	-.41350

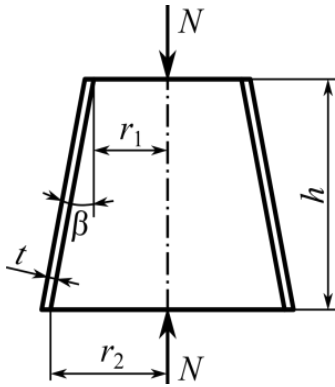


Рис. 13. Схема конической оболочки вращения под действием продольного усилия сжатия
Fig. 13. Scheme of a conical shell of revolution under the action of a longitudinal compression force

$\sigma_{cr,2}$ – критическое напряжение, определяемое по формуле

$$\sigma_{cr,2} = 0,55E \left(\frac{r_m}{h} \right) \left(\frac{t}{r_m} \right)^{3/2} = 18,27 \text{ МПа}, \quad (8)$$

где $r_m = 1767$ мм – радиус, определяемый по формуле 6.5;
 $h = 118$ см – высота конической оболочки (между основаниями).

Расчет на устойчивость конической оболочки вращения, подверженной одновременному действию нагрузок, сжатой силой N вдоль оси (рис. 6.15) и внешнего равномерного давления p , следует выполнять по формуле

$$\left(\frac{N}{N_{cr}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,2}} \right) / \gamma_c = 0,53 < 1 \quad (9)$$

где значения N_{cr} и $\sigma_{cr,2}$ следует вычислять по формулам 6 и 9.

Таким образом, устойчивость конической оболочки вращения обеспечена.

Расчет на устойчивость нижней цилиндрической опоры

Сжимающие напряжения возникают на границе сопряжения конической части и нижней цилиндрической опоры

Наиболее напряженное сечение расположено на расстоянии 20...30 мм от границы контакта. В данном месте располагается укрупнительное кольцо из равнополочного уголка 50×5. Таким образом, общая толщина оболочки в наиболее напряженной зоне составляет $5 + 5 = 10$ мм.

Для проверки устойчивости оболочки рассматриваем элемент оболочки № 16, для которого рассчитаем расчетные сочетания нагрузок для определения максимальных сжимающих меридиональных и кольцевых напряжений.

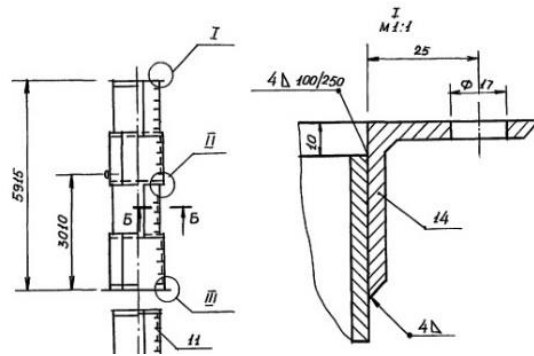


Рис. 14. Узел сопряжения конической и цилиндрической оболочек водонапорной башни
Fig. 14. Node of conjugation of the conical and cylindrical shells of the water tower

Для расчета на устойчивость замкнутых круговых цилиндрических оболочек вращения выполняем определения критических напряжений:

Меридиональных: $\sigma_{cr,1}$ – критическое напряжение, равное меньшему из значений $\psi R_y = 0,886 \cdot 245 = 217$ МПа;

или $cEt / r = 0,22 \cdot 206000 \cdot 10/610 = 742$ МПа;

принимая $\sigma_{cr,1} = 217$ МПа – критическое напряжение;

здесь $r = 610$ мм – радиус срединной поверхности оболочки;

$t = 10$ мм – толщина оболочки в пределах максимальных сжимающих напряжений.

при $r / t = 610/10 = 61 \leq 300$;

при $r / t > 300$ $\sigma_{cr,1} = cEt / r$.

Значения коэффициентов ψ при $0 < r / t \leq 300$ следует определять по формуле

$$\psi = 0,97 - \left(0,00025 + 0,95 \frac{R_y}{E} \right) \frac{r}{t} = 0,88 \quad (10)$$

Значения коэффициента c следует определять по таблице

Кольцевые критические напряжения:

$$\sigma_{cr,2} = 0,55E \left(\frac{r}{h} \right) \left(\frac{t}{r} \right)^{3/2} = 24,54 \text{ МПа}, \quad (11)$$

где $r = 610$ мм – радиус цилиндрической оболочки;

$h = 5915$ мм – высота цилиндрической оболочки до первого кольцевого ребра, которое является также и укрупнительным ребром.

В таблице 3:

N_x – кольцевые напряжения в Па, соответствуют σ_2 ,

N_y – меридиональные напряжения в Па соответствуют σ_1 .

Для дальнейших расчетов принимаем сочетание № 3:

$$\sigma_2 = -16,166 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_1 = -20,451 \text{ МПа.}$$

Расчет на устойчивость цилиндрической оболочки до первого кольцевого ребра, подверженной одновременному действию нагрузок (меридиональных и кольцевых) выполняем по формуле

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr,1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,2}} \right) / \gamma_c = (20,451/217 + 16,166/24,54) = 0.753 \cdot \quad (12)$$

Таким образом, устойчивость цилиндрической оболочки вращения в зоне действия максимальных сжимающих меридиональных и кольцевых напряжений (зона контакта конической и цилиндрической оболочек) обеспечена.

Таблица 3. Комбинации расчетных напряжений в элементе № 16

Table 3. Combinations of design stresses in element No. 16

	44	16-1	
		22	
		23	

	1 (I)	-	1
	NX	-15237.	
	NY	-19979.	
	TXY	-554.89	
	MX	.00184	
	MY	.01065	
	MXY	-.00039	
	QX	.00204	
	QY	.85126	
	2 (I)	-	2
	NX	-11960.	
	NY	-15731.	
	TXY	-308.24	
	MX	.00147	
	MY	.00848	
	MXY	-.00022	
	QX	.00119	
	QY	.67360	
	3 (I)	-	3
	NX	-16166.	
	NY	-20451.	
	TXY	-3366.6	
	MX	.00184	
	MY	.01032	
	MXY	.00117	
	QX	-.00444	
	QY	.84171	

В случае, если в расчете не учитывается толщина укрупнительного кольца из равнополочного уголка 50*5, толщина оболочки в наиболее напряженной зоне составляет 5 мм.

Тогда проверка на устойчивость цилиндрической оболочки до первого кольцевого

ребра, подверженной одновременному действию нагрузок (меридиональных и кольцевых) выполняем по формуле

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr,1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,2}} \right) / \gamma_c = (20,451/217 + 16,166/8,67) = 1,95 \geq \quad (13)$$

Где кольцевые критические напряжения:

$$\sigma_{cr,2} = 0,55E \left(\frac{r}{h} \right) \left(\frac{t}{r} \right)^{3/2} = 8,67 \text{ МПа,} \quad (14)$$

Таким образом, устойчивость цилиндрической оболочки вращения в зоне действия максимальных сжимающих меридиональных и кольцевых напряжений (зона контакта конической и цилиндрической оболочек) не обеспечена. Требуется дополнительные конструктивные мероприятия в виде кольцевого ребра на расстоянии не более $4 \cdot r = 2440$ мм – 4-х радиусов цилиндрической оболочки:

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr,1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,2}} \right) / \gamma_c = (20,451/217 + 16,166/21,02) = 0,863 \cdot \quad (15)$$

Где кольцевые критические напряжения:

$$\sigma_{cr,2} = 0,55E \left(\frac{r}{h} \right) \left(\frac{t}{r} \right)^{3/2} = 21,02 \text{ МПа,} \quad (16)$$

Таким образом, устойчивость цилиндрической оболочки вращения в зоне действия максимальных сжимающих меридиональных и кольцевых напряжений обеспечена при установке дополнительного кольцевого ребра ниже зоны контакта конической и цилиндрической оболочек на расстоянии до 4-х радиусов цилиндрической оболочки.

Расчет на прочность опорной части нижней цилиндрической части резервуара.

Расчет на прочность опорной части нижней цилиндрической части резервуара, подверженной одновременному действию нагрузок (меридиональных и кольцевых) выполняем в наиболее нагруженном сечении в зоне контакта с днищем.

В качестве наиболее напряженного элемента рассматриваем элемент № 4675, для которого рассчитываем комбинации расчетных напряжений в данном элементе, которые представлены в таблице 4.

В таблице 4:

N1 – главные кольцевые напряжения в МПа, соответствуют σ_2 ,

N3 – главные меридиональные напряжения в МПа соответствуют σ_1

FI - касательные напряжения в МПа, соответствуют T_{xy}

Для дальнейших расчетов принимаем сочетание № 3 средний слой для стали ВСтЗсп:

$$\sigma_2 = +21,87 \text{ МПа} < R_y = 245 \text{ МПа}$$

$$\sigma_1 = -105,05 \text{ МПа} < R_y = 245 \text{ МПа}$$

$$T_{xy} = -1,55 \text{ МПа} < R_s = 142 \text{ МПа.}$$

Таблица 4. Комбинации расчетных напряжений в элементе № 4675

Table 4. Combinations of design stresses in element № 4675

башня основная схема				
ГЛАВНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ				
44_	4675-1I	4675-1M	4675-1	
	4609	4609	4609	
	4628	4628	4628	

1 (I)	-			
N1	26.43325	25.88318	25.33312	
N3	-30.58281	-32.49376	-34.40471	
FI	-.248245	-.249098	-.249907	
NE01	26.43325	25.88318	25.33312	
NS01	-30.58281	-32.49376	-34.40471	

2 (I)	-			
N1	21.10707	20.66707	20.22707	
N3	-22.05150	-23.59908	-25.14665	
FI	-.181969	-.182886	-.182807	
NE01	21.10707	20.66707	20.22707	
NS01	-22.05150	-23.59908	-25.14665	

3 (I)	-			
N1	22.13447	21.86696	21.59956	
N3	-104.0913	-105.0485	-106.0059	
FI	-1.513899	-1.548328	-1.582465	
NE01	22.13447	21.86696	21.59956	
NS01	-104.0913	-105.0485	-106.0059	

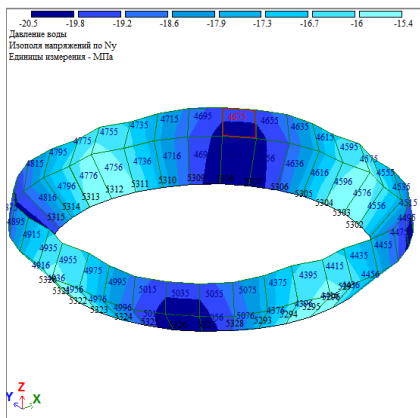


Рис. 15. Мозаики меридиональных напряжений опорной части нижней цилиндрической части резервуара от давления воды

Fig. 15. Mosaics of meridional stresses of the supporting part of the lower cylindrical part of the tank from water pressure

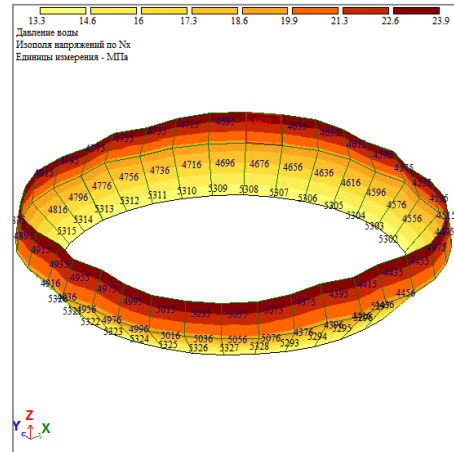


Рис. 16. Мозаики кольцевых напряжений опорной части нижней цилиндрической части резервуара от давления воды

Fig. 16. Mosaics of hoop stresses of the supporting part of the lower cylindrical part of the tank from water pressure

ВЫВОДЫ:

Результаты исследований показали, что использование конструкций металлической башни Ражновского, выполненной по ТП 901-5-53.С.93г. возможно на территории Крыма в районах с 8-ми бальной расчетной сейсмикой.

Однако для обеспечения местной устойчивости цилиндрической оболочки вращения (ствола башни) в зоне действия максимальных сжимающих меридиональных и кольцевых напряжений требуется установка дополнительного кольцевого ребра ниже зоны контакта конической и цилиндрической оболочек на расстоянии от зоны контакта до 4-х радиусов цилиндрической оболочки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Как Крым обеспечат водой. <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2020/10/20/843978-krim-obespechat>.
2. В Крыму сравнили эффективность бурения скважин и опреснительные установки. <https://iz.ru/1101386/2020-12-17/v-krymu-sravnili-effektivnost-burenii-a-skvazhin-i-opresnitelnye-ustanovki>.
3. Скачков С.В., Щуцкий С.В. Расчет стенки водонапорной башни в виде цилиндрического резервуара на прочность и устойчивость// Инженерный вестник Дона, 2017. № 4 (47). С. 202-208.
4. Скачков С.В., Щуцкий С.В. Определение напряжений в цилиндрической стенке стальной водонапорной башни// Строительство и архитектура: сб. науч. тр. "Донской государственный технический университет", АСИА, 2017. С. 140-144.
5. Гарькин И.Н., Карташова Я.С. Обследование конструкций стальных водонапорных башен// Аллея науки. – 2017. – Т.2. – № 9. – С. 454-457.

6. Скачков С.В., Щуцкий С.В. Определение напряжений в цилиндрической стенке стальной водонапорной башни// Актуальные проблемы науки и техники. – 2019. – С. 430-431.

7. Лессинг Е. Н., Лилеев А. Ф., Соколов А. Г. Листовые металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1970. – 488 с.

8. Металлические конструкции. Конструкции зданий. Т.2 / ред. В. В. Горев. – М.: изд. Высшая школа. 1999. – 385 с.

9. Лихтарников Я.М., Ладыженский Д.В., Клык В.М. Расчет стальных конструкций. – К.: Будівельник, 1984. – 368 с.

10. Металлические конструкции. В 3 т. Т.3. Стальные сооружения / ред. В.В. Кузнецов. М.: изд. АСВ, 1999. – 528 с.

11. Казакевич М.И. Актуальные заметки по аэродинамике зданий и сооружений. – Дн-ск: Акцент, 2011. – 184 с.

12. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – К.: Факт, 2005. – 344 с.

3. Calculation of the wall of a water tower in the form of a cylindrical tank for strength and stability. S.V. Skachkov, S.V. Shchutskiy Engineering Bulletin of the Don. – 2017. – No. 4 (47). – P. 202.

4. Determination of stresses in the cylindrical wall of a steel water tower. S.V. Skachkov, S.V. Shchutskiy In the collection: Building and architecture-2017. FSBEI HE "Don State Technical University", ASiA. – 2017. – P. 140-144.

5. Inspection of steel water tower structures. Garkin I.N., Kartashova Ya.S. Alley of Science. – 2017. – Vol. 2. – No9. – P. 454-457.

6. Determination of stresses in the cylindrical wall of a steel water tower. Skachkov S.V., Shchutskiy S.V. In the book: Actual problems of science and technology. – 2019. – P. 430-431.

7. Lessing EN, Lileev AF, Sokolov AG Sheet metal structures. M.: Sroyizdat, 1970. – 488 p.

8. Metal structures. Building structures. T.2 / ed. V.V. Gorev. – M.: High school, 1999. – 385 p.

9. Likhtarnikov Ya.M., Ladyzhensky DV, Klykov V.M. Calculation of steel structures. – K.: Budivel'nik, 1984. – 368 p.

10. Metal structures. In 3 volumes. Vol. 3. Steel structures / ed. V.V. Kuznetsov. – M.: ed. ASV, 1999. – 528 p.

11. Kazakevich M.I. Actual notes on the aerodynamics of buildings and structures. – Dn-sk: Accent, 2011. – 184 p.

12. Gorodetsky A.S., Evzerov I.D. Computer models of structures. – K.: Fact, 2005. – 344 p.

REFERENCES

1. How the Crimea will be provided with water. <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2020/10/20/843978-krim-obespechat>.

2. In Crimea, the efficiency of drilling wells and desalination plants was compared. <https://iz.ru/1101386/2020-12-17/v-krymu-sravnili-effektivnost-bureniia-skvazhin-i-opresnitelnye-ustanovki>.

TO THE QUESTION OF CONSTRUCTION OF WATER TOWER ROZHNOVSKY IN THE CRIMEA

Sintsov A.V., Danchenko N.V., Sintsov V.P.

Academy of Civil Engineering and Architecture, V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
address: Simferopol, st. Kievskaya, 181,
E-mail: sin59@bk.ru

Abstract. Relevance. In 2014, Ukraine closed the North Crimean water canal, resulting in a shortage of water supply to the Crimean settlements. The real prospect for Crimea in terms of water supply is water supply from underground sources according to the government of Crimea. To maintain the pressure and water supply in the village water supply networks, Rozhnovsky steel water towers are used.

Subject of research: There are known cases of destruction of such structures as a result of seismic impact due to the loss of local stability of the wall. In this regard, it became necessary to check the water tower according to TP 901-5-53c.93 for design loads, taking into account 8-point seismicity.

Materials and methods: SP LIRA SAPR allows obtaining a picture of stress distribution in elements of sheet structures. To study the behavior of tower elements under load, a spatial computer model has been developed, composed of finite elements - shells. In the results of the calculation based on the calculated combinations of loads, the maximum stresses in the finite elements of the water tower from the complex of loads are determined.

Results: As a result of the calculation for the static and dynamic effects from external loads, deformed water tower schemes were obtained, the stresses in the elements of the tower shells were checked, the results of checking the local stability of the water tower elements under the action of seismic loads were obtained. The calculation results are presented in the form of mosaics of the main (meridional and ring) stresses in the elements of the water tower and calculation formulas for checking the local stability of the tower elements according to the method of SP 16.131330.

Conclusions: Research results have shown that to ensure local stability of the tower barrel in the junction zone of the conical and cylindrical shells of the tower, it is necessary to install an additional annular rib below the junction zone in the tower barrel at a distance of up to 4 radii of the cylindrical shell from the junction zone.

Key words: water tower, finite element, meridional and hoop stresses, local stability.