



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2012, ТОМ 18, НОМЕР 1, 61–71

УДК 624.014

(12)-0259-1

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ УТОРНОГО ВУЗЛА У ВЕРТИКАЛЬНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРАХ ОБ'ЄМОМ 10 000...50 000 М³

В. П. Мущанов, Д. І. Роменський

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: mvf@donnasa.edu.ua

Отримана 26 січня 2012; прийнята 24 лютого 2012.

Анотація. Розглянуто питання обґрунтування кінцево-елементної розрахункової схеми вузла сполучення стінки з днищем вертикального циліндричного резервуара великого об'єму (10 000...50 000 м³). Виділено основні фактори, що впливають на напружено-деформований стан таких вузлів (геометричні та жорсткісні параметри, конструктивні рішення, міцнісні характеристики матеріалу, взаємодія з основою, нерівномірність осідання та ін.). На підставі проведених чисельних досліджень в узагальненому вигляді отримані закономірності зміни основних параметрів напружено-деформованого стану (радіальні і кільцеві напруження, радіальні переміщення) від перерахованих вище факторів впливу. Запропоновано аналітичні залежності для опису встановлених закономірностей, які можуть бути використані як при проектуванні, так і при уточненні напружено-деформованого стану стінки експлуатованого резервуара в зоні уторного вузла.

Ключові слова: резервуар з однією стінкою, уторний вузол, напружено-деформований стан, крайовий ефект, чисельні дослідження.

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УТОРНОГО УЗЛА В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРАХ ОБЪЕМОМ 10 000...50 000 М³

В. Ф. Мущанов, Д. И. Роменский

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: mvf@donnasa.edu.ua

Получена 26 января 2012; принята 24 февраля 2012.

Аннотация. Рассмотрен вопрос обоснования конечно-элементной расчетной схемы узла сопряжения стенки с днищем вертикального цилиндрического резервуара большого объема (10 000...50 000 м³). Выделены основные факторы, влияющие на напряженно-деформированное состояние таких узлов (геометрические и жесткостные параметры, конструктивные решения, прочностные характеристики материала, взаимодействие с основанием, неравномерность осадок и др.). На основании проведенных численных исследований в обобщенном виде получены закономерности изменения основных параметров напряженно-деформированного состояния (радиальные и кольцевые напряжения, радиальные перемещения) от вышеперечисленных факторов влияния. Предложены аналитические зависимости для описания установленных закономерностей, которые могут быть использованы как при проектировании, так и при уточнении напряженно-деформированного состояния стенки эксплуатируемого резервуара в зоне уторного узла.

Ключевые слова: резервуар с одной стенкой, уторный узел, напряженно-деформированное состояние, краевой эффект, численные исследования.

RESEARCHES OF THE STRESS-STRAIN STATE UNIT OF CONNECTION OF WALLS WITH THE BOTTOM IN VERTICAL CYLINDRICAL TANKS IN VOLUME 10 000-50 000 M³

Volodymyr Mushchanov, Denis Romensky

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.
E-mail: mvf@donnasa.edu.ua*

Received 26 January 2012; accepted 24 February 2012.

Abstract. The question of justification of the finite element calculation scheme the node pair with the bottom wall of the vertical cylindrical tank of large volume (10 000..50 000 m³). Main factors influencing the stress-strain state of such sites (geometric and stiffness parameters, design solutions, the strength characteristics of the material, interaction with the ground, uneven cake, etc.). On the basis of numerical studies are summarized obtained regularities of changes in key parameters of the stress-strain state (radial and circumferential strain, radial displacement) of the above-mentioned factors of influence. Proposed analytical expressions to describe the set of patterns that can be used in the design and the refinement of the stress-strain state of the walls of the reservoir is operated in the area unit of connection of walls with the bottom.

Keywords: tank with one wall, connection of walls with the bottom, stress-strain state, the local effect, numerical analyses.

Введение

Существующая во всем мире тенденция увеличения числа и размеров резервуарных конструкций приводит к повышению ответственности и опасности этих сооружений. При этом одним из наиболее сложных в расчетном плане является уторный узел резервуара (место сопряжения днища со стенкой) [1–3], расчетные модели которого для разных случаев расчета в нормативных документах разных стран строились исходя из 2-х диаметрально противоположных предпосылок [6–14]:

- представление соединения в виде жесткого рамного узла (рис. 1а), жесткость которого обеспечивается 2-мя кольцевыми угловыми швами. Данная методика применяется в отечественных нормативных документах [2, 6],
- представление соединения в виде шарнирного узла (рис. 1б), характерное для многих европейских и американских норм расчета и проектирования резервуарных конструкций [10–12].

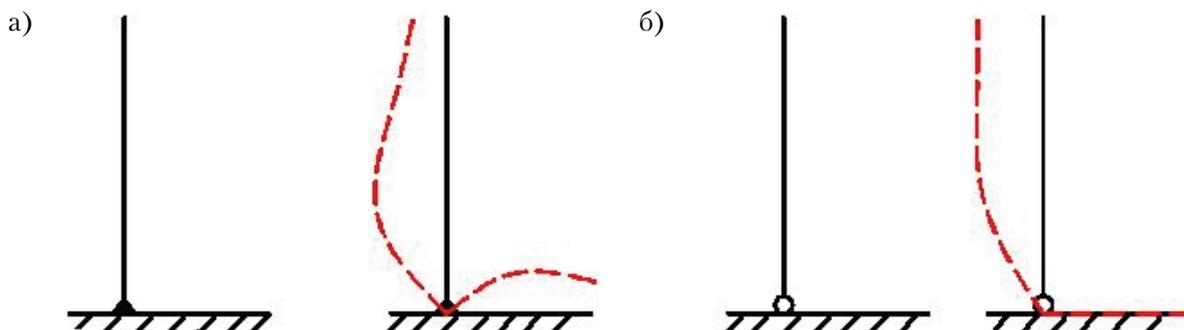


Рисунок 1. Возможные варианты учета расчетных схем для уторного узла: а) жесткий (рамный) узел; б) шарнирный узел.

Основная часть

Для проведения численных исследований рассмотрены следующие комбинации варьируемых факторов:

- объем резервуара: 10 000, 20 000, 30 000 и 50 000 м³,
- соотношение радиуса срединной поверхности стенки к ее толщине t : 1 187,50–1 266,67;
- податливость основания: жесткое основание, минимально уплотненный грунт, средне уплотненный грунт;
- наличие защитной стенки и связанное с этим развитие величины окрайки: нет;
- принятая расчетная схема уторного узла: жесткая или шарнирная.

Принятые для проведения численных исследований расчетные схемы конструкции, приведенные на рис. 2 и 3, характеризуются следующими параметрами:

- число узлов – 36 536–57 632,
- число элементов – 36 821–57 786,
- схема нагружения – гидростатическое + собственный вес.

Для проведения численных исследований использован универсальный расчетный комплекс SCAD версия 7,31R5. Для моделирования стенки использованы конечные элементы пластинчатого типа (треугольный элемент типа 42; четырехугольный элемент типа 44).

С целью обобщения данных, результаты расчетов представлены в виде относительных величин:

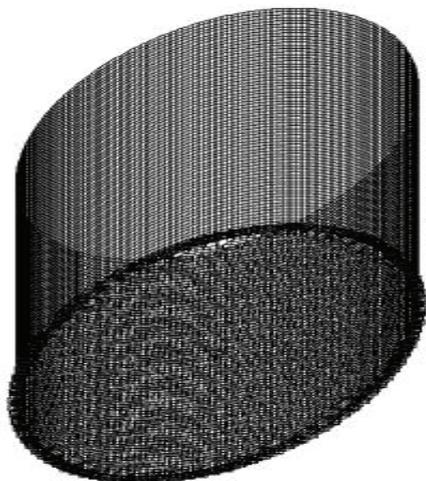


Рисунок 2. Расчетная схема резервуара с жестким сопряжением стенки с дном.

- геометрические параметры для рассматриваемой точки, в которой вычислялись величины перемещений в виде соотношения h/H (где h – высота расчетной точки относительно дна, H – высота стенки резервуара),
- уровень перемещений для рассматриваемой точки оценивался соотношением Δ/D (где Δ – горизонтальные (радиальные) перемещения, D – диаметр резервуара),
- геометрические параметры для рассматриваемой точки, в которой вычислялись величины напряжений в виде соотношения H/D (где H – высота расчетной точки относительно дна, D – диаметр резервуара),
- уровень напряжений для рассматриваемой точки оценивался соотношением σ/R_y (где σ – действующие кольцевые или меридиональные напряжения, R_y – величина расчетного сопротивления стали).

Результаты численных исследований НДС зоны уторного узла одностенчатого ВЦР на жестком основании приведены на рис. 4–6

Реализованные варианты расчета приведены в таблице 1.

В приведенных графиках (рис. 4–9) для шарнирной и жесткой схем начальная точка отсчета графиков расположена на высоте 1–2 см от уровня дна.

Представленные на рис. 5 и 6 графики могут быть аппроксимированы функциональными зависимостями, приведенными в таблице 2.

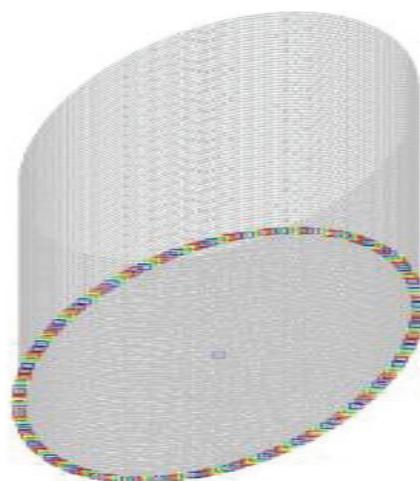


Рисунок 3. Расчетная схема резервуара с шарнирным сопряжением стенки с дном.

Таблица 1. Матрица численного эксперимента для ВЦР на жестком основании

Объем резервуара, м ³	Отношение r/t *	Тип основания			Наличие защитной стенки	
		Жесткое	Минимально уплотненный грунт	Средне уплотненный грунт	Без защитной стенки	С защитной стенкой
10 000	1 187,500	+	-	-	+	-
20 000	1 246,875	+	-	-	+	-
30 000	1 266,670	+	-	-	+	-
50 000	1 264,580	+	-	-	+	-

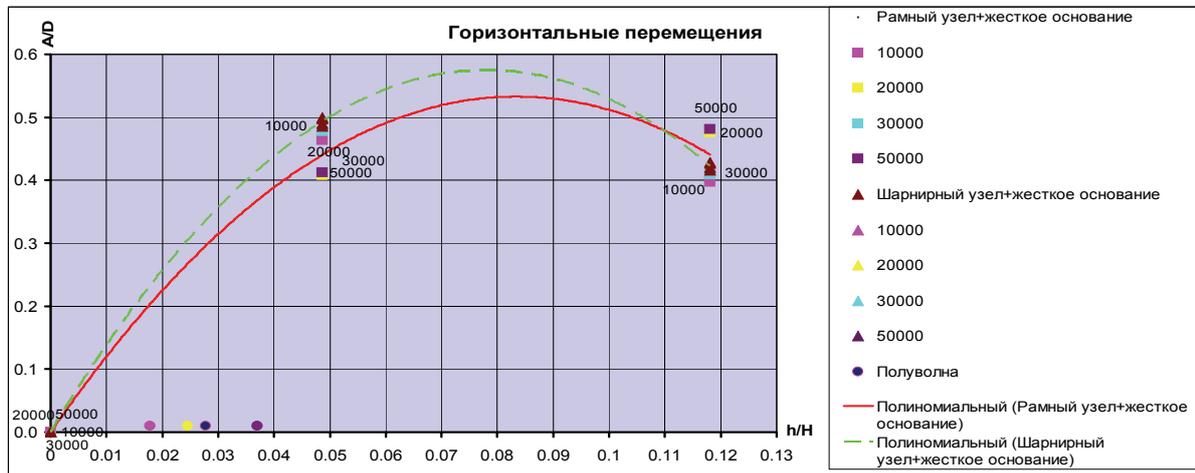
* – Принимаем $r/t \approx 1241,4$.

Рисунок 4. Значения относительных величин горизонтальных перемещений для уторного узла ВЦР на жестком основании при шарнирной и жесткой схеме крепления стенки ВЦР к основанию.

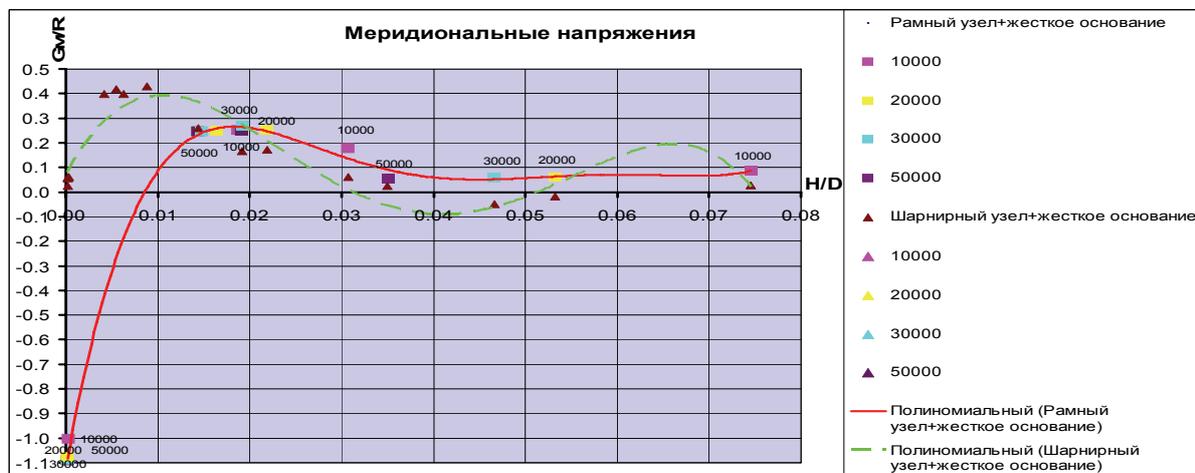


Рисунок 5. Значения относительных величин меридиональных напряжений для уторного узла ВЦР на жестком основании при шарнирной и жесткой схеме крепления стенки ВЦР к основанию.



Рисунок 6. Значения относительных величин кольцевых напряжений для уторного узла ВЦР на жестком основании при шарнирной и жесткой схеме крепления стенки ВЦР к основанию.

Таблица 2. Значения аппроксимирующих функций параметров НДС для ВЦР на жестком основании

Показатель	Расчетная схема	Функция	Ошибка, %
Кольцевые напряжения	Жесткая	Rational Function: $y = \frac{(a + bx)}{(1 + cx + dx^2)}$ Coefficient Data: a = -3,73296206162E-001 b = 2,08777558520E+002 c = 2,05801694403E+002 d = 2,05344683417E+003	2,1
	Шарнирная	Rational Function: $y = \frac{(a + bx)}{(1 + cx + dx^2)}$ Coefficient Data: a = 3,58518684764E-002 b = 9,31745988579E+001 c = 6,18346123062E+001 d = 1,55515426773E+003	4,3
Меридиональные напряжения	Жесткая	4th Degree Polynomial Fit: $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$ Coefficient Data: a = -1,10911447562E+000 b = 1,81812973404E+002 c = -8,06643453998E+003 d = 1,37556377714E+005 e = -7,93925814376E+005	2,8
	Шарнирная	Rational Function: $y = \frac{(a + bx)}{(1 + cx + dx^2)}$ Coefficient Data: a = 4,48523758900E-002 b = 3,86845698220E+001 c = -1,86337511219E+002 d = 2,06518657215E+004	4,5

Анализируя приведенные выше результаты, можно сделать следующие выводы:

- при шарнирной схеме (на жестком основании) кольцевые и меридиональные напряжения на внешней поверхности стенки имеют положительное значение;
- при шарнирной схеме (на жестком основании) кольцевые напряжения в уровне первого пояса имеют большее значение, чем для рамной схемы (на жестком основании) на 7–8 %.

Выполненное определение уровня кольцевых напряжений для жесткой и шарнирной схем по уравнению изгиба цилиндрической оболочки позволяет утверждать о достаточно удовлетворительной сходимости численного и аналитического результата расчета для одностенчатых резервуаров на жестком основании (6,4 %).

Влияние податливости основания на НДС зоны уторного узла одностенчатого ВЦР

Вместе с тем указанные методики не позволяют с достаточной степенью точности учесть как

влияние податливости основания, так и наличие защитной стенки на напряженно-деформированное состояние в зоне уторного узла. С этой целью, используя приведенную выше методику численных исследований, распространяем её на учет указанных в таблице факторов.

Несмотря на то, что для резервуаров больших объемов характерно устройство кольцевого железобетонного фундамента под стенкой резервуара, для эксплуатируемых в течение длительного времени конструкций характерно нарастание деформаций основания, которые эквивалентно могут быть отражены в качестве учета податливости основания.

Рассмотрим характерные для типовых проектов устройства основания.

Грунт выполнен из песчаной послойно уплотненной подушки толщиной 1,5 м. Для минимально уплотненного грунта $E = 15$ МПа, для средне уплотненного грунта $E = 30$ МПа.

Реализованные варианты расчета приведены в таблице 3, результаты расчета для минимально уплотненного грунта и средне уплотненного грунта приведены на рис. 7–9 и в табл. 4.

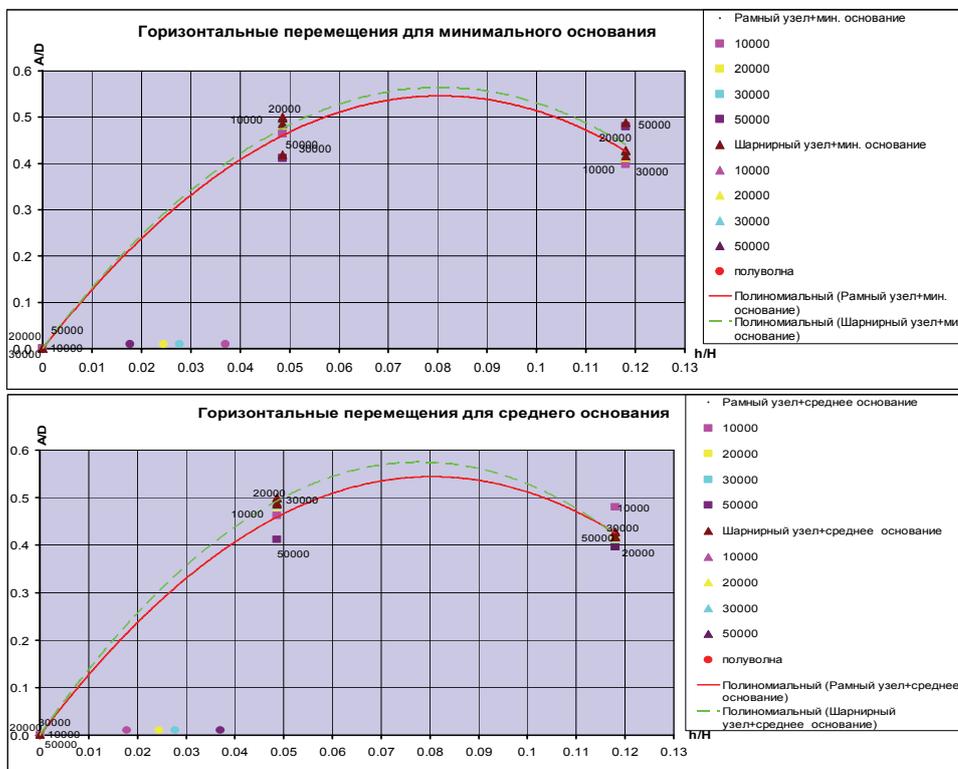


Рисунок 7. Значения относительных величин горизонтальных перемещений для уторного узла ВЦР на жестком основании при шарнирной и жесткой схеме крепления стенки ВЦР к основанию.

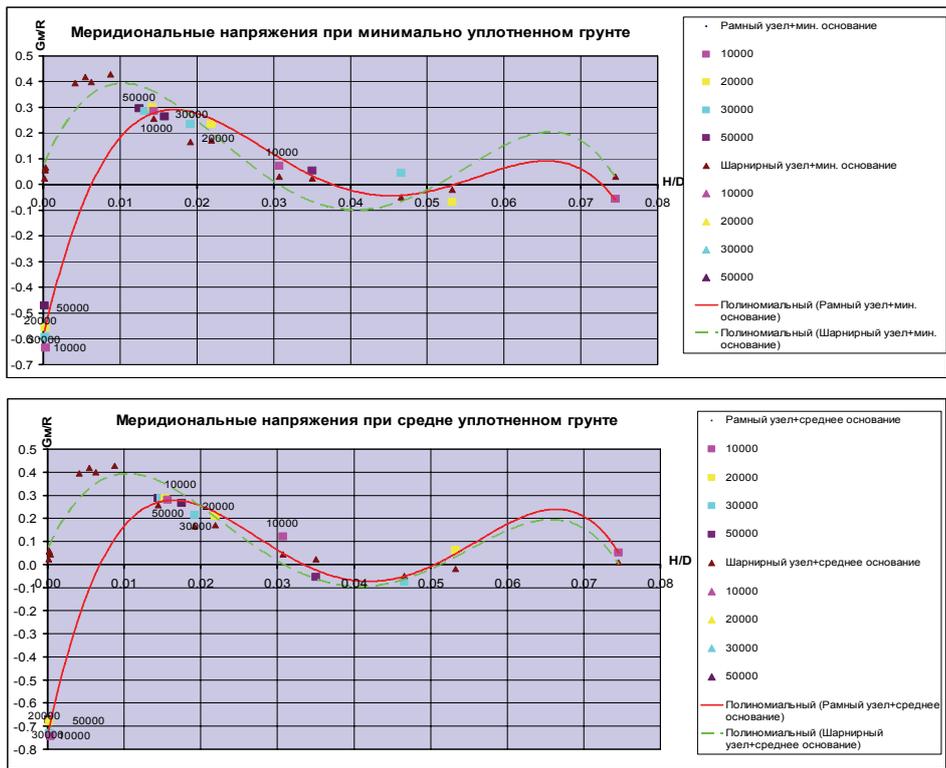


Рисунок 8. Значения относительных величин меридиональных напряжений для уторного узла ВЦР на минимально и средне уплотненном грунте при шарнирной и жесткой схеме крепления стенки ВЦР к основанию.

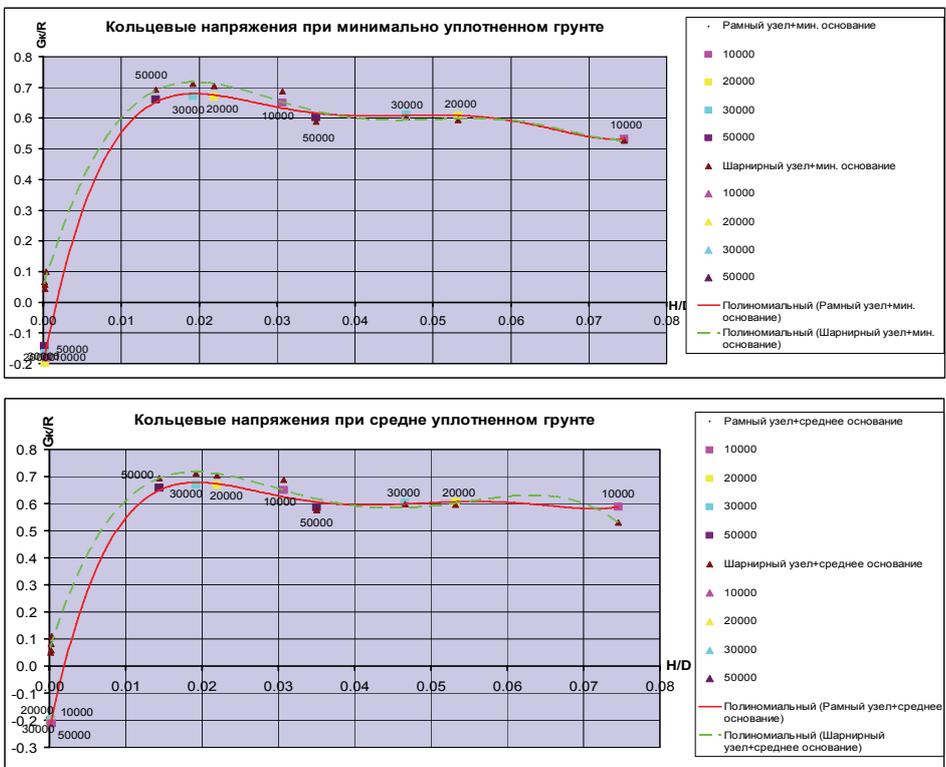


Рисунок 9. Значения относительных величин кольцевых напряжений для уторного узла ВЦР на минимально и средне уплотненном грунте при шарнирной и жесткой схеме крепления стенки ВЦР к основанию.

Представленные на рис. 8 и 9 зависимости могут быть аппроксимированы функциональными зависимостями, приведенными в таблице 4.

Анализируя результаты можно сделать следующие выводы:

– уровень уплотнения грунта основания практически не влияет на величину меридиональных и кольцевых напряжений в зоне уторного узла для шарнирной схемы сопряжения стенки с днищем (рис. 8 и 9);

Таблица 3. Матрица численного эксперимента для ВЦР на податливом основании

Объем резервуара, м ³	Отношение r/t	Тип основания			Наличие защитной стенки	
		Жесткое	Минимально уплотненный грунт	Средне уплотненный грунт	Без защитной стенки	С защитной стенкой
10 000	1 187,500	-	+	+	+	-
20 000	1 246,875	-	+	+	+	-
30 000	1 266,670	-	+	+	+	-
50 000	1 264,580	-	+	+	+	-

Таблица 4. Значения аппроксимирующих функций параметров НДС для ВЦР на податливом основании

Показатель	Расчетная схема	Податливость основания	Функция	Ошибка, %
Кольцевые напряжения	Жесткая	Средняя	Rational Function: $y = \frac{(a + bx)}{(1 + cx + dx^2)}$ Coefficient Data: a = -2,89237410225E - 001 b = 2,89295968886E + 002 c = 3,19868676615E + 002 d = 2,47206395158E + 003	3,4
		Минимальная	Rational Function: $y = \frac{(a + bx)}{(1 + cx + dx^2)}$ Coefficient Data: a = -2,35360480728E - 001 b = 2,23817933693E + 002 c = 2,17241568441E + 002 d = 2,56467178483E + 003	3,0
	Шарнирная	Средняя	Rational Function: $y = \frac{(a + bx)}{(1 + cx + dx^2)}$ Coefficient Data: a = -2,01644651815E - 002 b = 4,25664549550E + 002 c = 4,70722440076E + 002 d = 4,53719024442E + 003	2,9
		Минимальная	Rational Function: $y = \frac{(a + bx)}{(1 + cx + dx^2)}$ Coefficient Data: a = -5,95450602284E - 003 b = 3,21570793548E + 002 c = 3,38450585011E + 002 d = 3,65182273015E + 003	2,7

Окончание таблицы 4. Значения аппроксимирующих функций параметров НДС для ВЦР на податливом основании

Показатель	Расчетная схема	Податливость основания	Функция	Ошибка, %
Меридиональные напряжения	Жесткая	Средняя	4th Degree Polynomial Fit: $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$ Coefficient Data: $a = -7,43059524278E - 001$ $b = 1,55195363056E + 002$ $c = -7,75376528825E + 003$ $d = 1,41385499912E + 005$ $e = -8,50231560900E + 005$	3,9
		Минимальная	4th Degree Polynomial Fit: $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$ Coefficient Data: $a = -5,90510874302E - 001$ $b = 1,29242404128E + 002$ $c = -6,22784744256E + 003$ $d = 1,09531603816E + 005$ $e = -6,43413908362E + 005$	5,9
	Шарнирная	Средняя	Rational Function: $y = \frac{(a + bx)}{(1 + cx + dx^2)}$ Coefficient Data: $a = 4,12251354124E - 002$ $b = 3,71783105494E + 001$ $c = -1,91316910119E + 002$ $d = 2,06701691880E + 004$	4,7
		Минимальная	Rational Function: $y = \frac{(a + bx)}{(1 + cx + dx^2)}$ Coefficient Data: $a = 4,73465359130E - 002$ $b = 3,55260500674E + 001$ $c = -1,89831195365E + 002$ $d = 2,01977770202E + 004$	4,7

- для более уплотненного основания в зоне уторного узла меридиональные напряжения имеют существенно большие значения, чем для средне уплотненного грунта (до 40 %, рис. 8);
- уровень кольцевых напряжений в зоне уторного узла практически не зависит от его жесткости и от податливости основания (для шарнирной схемы они выше, чем кольцевые рамной схемы на 2–6 %, рис. 9).

Выводы

1. На основании численных исследований напряженно-деформированного состояния зоны

уторного узла вертикальных цилиндрических резервуаров установлены общие закономерности изменения основных параметров НДС ($\sigma_r, \sigma_m, \omega$) в зависимости от параметров проектирования, в качестве которых учитывается жесткость уторного узла, податливость основания, отношение r/t , объем резервуара.

2. Предложенные функциональные зависимости могут использоваться как при первоначальном проектировании, так и для уточнения НДС в зоне уторного узла испытуемого резервуара по данным обследования и испытания.

Литература

1. Мущанов, В. Ф. Проблемы совершенствования проектирования двустенчатых резервуаров [Текст] / В. Ф. Мущанов, И. В. Роменский, Д. И. Роменский // Металеві конструкції. – 2007. – Том 13, № 1. – С. 51–64.
2. Відомчі будівельні норми. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа [Текст] : ВБН В.2.2-58.2-94. – Вводяться вперше. – К. : Держкомнафтогаз, 1994. – 98 с.
3. Державні будівельні норми. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст] : ДБН В.1.2-2:2006. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007-01-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 61 с.
4. Некоторые особенности расчета и проектирования вертикальных цилиндрических резервуаров [Текст] / Е. В. Горохов, В. Ф. Мущанов, И. В. Роменский [и др.] // Материалы Международной научно-практической конференции Строительство-2004 / Ростовский государственный строительный университет. – Ростов : РГСУ, 2004. – С. 46.
5. Принципы конструирования и экспериментально-теоретические исследования крупногабаритных резервуаров нового поколения [Текст] / [авт. кол.: А. А. Землянский и др.]. – Саратов : Саратовский государственный технический университет, 2005. – 324 с.
6. Листовые металлические конструкции [Текст] / [авт. кол.: Е. Н. Лессиг, А. Ф. Лилеев, А. Г. Соколов и др.]. – Москва : Стройиздат, 1970. – 488 с.
7. Мущанов, В. Ф. Учет дефектов и несовершенства ВЦР на стадиях расчета и проектирования Новые решения конструкций, технологии сооружения, диагностики и ремонта стальных резервуаров [Текст] / В. Ф. Мущанов, А. А. Кулик, В. И. Москаленко // Новые решения конструкций, технологии сооружения, диагностики и ремонта стальных резервуаров : Тезисы докладов на коллоквиуме Рабочей группы I «Резервуары и силосы» Международной ассоциации по оболочкам и пространственным конструкциям (IASS). Болгария, Варна, 1–5 июня 2006 г. / Международной ассоциации по оболочкам и пространственным конструкциям (IASS). – К. : Сталь, 2006. – С. 42–43.
8. Металлические резервуары и газгольдеры [Текст] / [авт. кол.: Сафарян М. К. и др.]. – М. : Недра, 1987. – 200 с.
9. Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов [Текст] : СТО-СА-03-002-2009. – Введ. впервые ; действует с 2009-07-01. – Москва : Ростехэкспертиза, 2009. – 205 с. – ISBN 978-5-91187-117-8. – (Стандарт организации. Серия 03. Нормативные докумен-

References

1. Mushchanov, V. F.; Romensky, I. V.; Romensky, D. I. Problems of perfecting two-walled tank designing. In *Metal Constructions*, 2007, Том 13, No. 1, p. 51–64. (in Russian)
2. Industrial construction standards. Vertical steel oil storage tanks with vapour pressure not above 93,3 kilopascal : VBN B.2.2-58.2-94. Kyiv: Dergkomnaftogaz, 1994. 98 p. (in Ukrainian)
3. National Building Specifications. Reliability guarantee system and safety of structural objects. Load and effect. Designing standards: NBS B.1.2-2:2006. Kyiv: Ministry of Regional Civil Engineering of Ukraine, 2006. 61 p. (in Ukrainian)
4. Gorohov, Ye. V.; Mushchanov, V. F.; Romensky, I. V. Some features of analysis and design of vertical cylindrical tanks. In: International Scientific and Practical conference materials, Building industry – 2004. Rostov: RGSU, 2004, p. 46. (in Russian)
5. Zemlianskii, A. A. et al. Principles of engineering and experimental and theoretical researches of large-sized tank of new generation. Saratov: Saratov State Technical University, 2005. 324 p. (in Russian)
6. Lessig, E. N.; Lileev, A. F.; Sokolov, A. G. et al. Sheet metal constructions. Moscow: Stroizdat, 1970. 488 p. (in Russian)
7. Mushchanov, V. F.; Kulik, A. A.; Moskalenko, V. I. List of defects and imperfections of water-cement ratio at the analysis and designing stages. Modern concepts of constructions, production process of structures, diagnostic operation and steel tank refreshment. In *Modern concepts of constructions, production process of structures, diagnostic operation and steel tank refreshment. Theses at the colloquium of working group «Tank and siloes» International association of shell and space structures*. Bulgaria, Varna, June, 1–5, 2006, Kyiv: Stal, 2006, p. 42–43. (in Russian)
8. Safarian, M. K. et al. Metal tank and gas storage holder. Moscow: Nedra, 1987. 200 p. (in Russian)
9. Rules of design, production and erection of vertical cylindrical oil storage tanks: СТО-СА-03-002-2009. Moscow: Rostehekspertiza, 2009. 205 p. (in Russian)
10. Bakker, M. C. M.; Pekoz, T. The finite element method for thin-walled members-basic principles. In *Thin-Walled Structures*, 2003, 41, p. 179–189.
11. Goboy, L. A.; Sosa, E. M. Localized support settlements of thin-walled storage tanks. In *Thin-Walled Structures*, 2003, p. 941–955.
12. Ed. by: Kamyab H. and others. Displacement and stresses in oil storage tanks caused by differential settlement. London: [s. n.], 1987. 256 p.
13. Pircher, M.; Bridge, R. The influence of circumferential weld-induced imperfections on the buckling of silos and tanks. In *Journal of Constructional Steel Research*, 2001, 57, p. 569–580.
14. Virella, J. C.; Goboy, L. A.; Suarez, L. E. Influence of the roof on the natural periods of empty steel tanks. In *Engineering Structures*, 2003, 25, p. 877–887.

- ты межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр).
10. Bakker, M. C. M. The finite element method for thin-walled members-basic principles [Текст] / М. С. М. Bakker, Т. Pekoz // Thin-Walled Structures. – 2003. – 41. – P. 179–189.
 11. Goboy, L. A. Localized support settlements of thin-walled storage tanks [Текст] / L. A. Goboy, E. M. Sosa // Thin-Walled Structures. – 2003. – P. 941–955.
 12. Displacement and stresses in oil storage tanks caused by differential settlement [Текст] / [ed. by. : Kamyab H. and others]. – London: [s. n.], 1987. – 256 p.
 13. Pircher, M. The influence of circumferential weld-induced imperfections on the buckling of silos and tanks [Текст] / M. Pircher, R. Bridge // Journal of Constructional Steel Research. – 2001. – 57. – P. 569–580.
 14. Influence of the roof on the natural periods of empty steel tanks [Текст] / J. C. Virella, L. A. Goboy, L. E. Suarez // Engineering Structures. – 2003. – 25. – P. 877–887.

Мушанов Володимир Пилипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теоретичної і прикладної механіки, проректор з наукової роботи Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член міжнародної організації «Інститут цивільних інженерів» та міжнародної асоціації «Просторові конструкції», академік Української Академії наук, Академії будівництва України, член-кореспондент Академії архітектури України. Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

Роменський Денис Ігорович – інженер, асистент кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

Мушанов Владимир Филипович – д. т. н., профессор; заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики, проректор по научной работе Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член международной организации «Институт гражданских инженеров» и международной организации «Пространственные конструкции», академик Украинской Академии наук, Академии строительства Украины, член-корреспондент Академии архитектуры Украины. Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

Роменский Денис Игоревич – инженер, ассистент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

Volodymyr Mushchanov – DSc (Eng.), Professor; Head of the Theoretical and Applied Mechanics Department, vice-rector on the scientific activity of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A member of the international organization «Institute of Civil Engineer» and international organization of «Spatial Structures», academician of the Ukrainian Academy of Science and Ukrainian Building Academy, Corresponding Member of Ukrainian Academy of Architecture. The academician of the Engineering Academy in Ukraine. His research interests include the reliability theory, analyses, designing and engineering diagnostics of spatial metal structures.

Denis Romensky – engineer, assistant of the Theoretical and Applied Mechanics department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. His research interests include the calculation, designing and engineering diagnostics of spatial metal structures.