



(17)-0363-1

## **АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТЕНКИ РЕЗЕРВУАРА С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ НЕСОВЕРШЕНСТВАМИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

**А. А. Крысько**

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.  
E-mail: a.a.krjysko@donnasa.ru*

*Получена 04 августа 2017; принята 22 сентября 2017.*

**Анотация.** В работе выполнено обоснование необходимости учета специфики действия гидростатической нагрузки при расчете стенки резервуара с геометрическими несовершенствами. Разработана поэтапная схема нагружения стенки резервуара гидростатическим давлением, позволяющая выполнить геометрически нелинейный упругий расчет с учетом дефектов геометрии. Исследовано напряжённо-деформированное состояние эксплуатируемого резервуара с несовершенствами геометрической формы при действии гидростатической нагрузки, что позволило выявить тенденцию изменения напряжений по мере наполнения резервуара. Проведенное исследование позволяет определить максимальную высоту налива жидкости в деформированный резервуар для его дальнейшей безопасной эксплуатации.

**Ключевые слова:** стальной вертикальный цилиндрический резервуар, гидростатическое давление, напряжённо-деформированное состояние, несовершенства геометрической формы, геометрически нелинейный упругий расчет с учетом дефектов.

## **РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТІНКИ РЕЗЕРВУАРА ВІД ДІЇ ГІДРОСТАТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ У НЕЛІНІЙНІЙ ПОСТАНОВЦІ З ГЕОМЕТРИЧНИМИ НЕДОСКОНАЛОСТЯМИ**

**О. А. Крисько**

*ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.  
E-mail: a.a.krjysko@donnasa.ru*

*Отримана 04 серпня 2017; прийнята 22 вересня 2017.*

**Аннотация.** У роботі виконано обґрунтування необхідності урахування специфіки дії гідростатичного навантаження при розрахунку стінки резервуара з геометричними недосконалістями. Розроблена поетапна схема навантаження стінки резервуара гідростатичним тиском, що дозволяє виконати геометрично нелінійний пружний розрахунок з урахуванням дефектів геометрії. Досліджено напружено-деформований стан експлуатованого резервуара з недосконалістю геометричної форми при дії гідростатичного навантаження, що дозволило виявити тенденцію зміни напружень в міру наповнення резервуара. Проведені дослідження дозволяють визначити максимальну висоту наливання рідини в деформований резервуар для його подальшої безпечної експлуатації.

**Ключові слова:** сталевий вертикальний циліндричний резервуар, гідростатичне навантаження, напружено-деформований стан, недосконалісті геометричної форми, геометрично нелінійний пружний розрахунок з урахуванням дефектів.

## CALCULATION OF THE INTENSE DEFORMED STATE OF TANK'S WALL UNDER THE ACTION OF THE HYDROSTATIC LOAD IN A NONLINEAR SETTING WITH GEOMETRIC IMPERFECTIONS

Alexandra Krysko

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.  
E-mail: a.a.krysko@donnasa.ru*

*Received 04 August 2017; accepted 22 September 2017.*

**Abstract.** The work substantiates the necessity of taking into account the specificity of the hydrostatic load when calculating the wall of a tank with geometric imperfections. A step-by-step scheme for loading the tank wall with hydrostatic pressure has been developed, which makes it possible to perform a geometrically nonlinear elastic analysis with imperfections included geometry. The intense deformed state of an exploited tank with geometric imperfections under the action of a hydrostatic load was studied, which made it possible to reveal the tendency of the stress change as the tank was filled. The carried out research allows determining the maximum height of filling liquid in the deformed reservoir for its further safe operation.

**Keywords:** steel vertical cylindrical tank, hydrostatic load, the intense deformed state, the defects of geometrical form, geometrically nonlinear elastic analysis with imperfections included.

### Введение

Гидростатическая нагрузка на деформированную стенку резервуара представляет собой неравномерно распределенное внутреннее давление. В работах [1–4] отмечено, что при воздействии неравномерных нагрузок применение линейного расчета дает существенные погрешности, так как при этом не учитываются большие докритические прогибы, а также исключаются из рассмотрения нелинейные эффекты качественного характера, такие как перестройка докритической формы по мере увеличения нагрузки. В таких случаях необходимо применение геометрически нелинейного расчета для определения напряженно-деформированного состояния оболочки.

Наличие геометрических несовершенств в тонкостенной оболочке вызывает необходимость не только проведения расчетов НДС в геометрически нелинейной постановке, как принято рядом исследователей [1–7], но в сочетании с действием специфической гидростатической нагрузки, требует и учета нелинейности, связанной с изменением заданной расчетной схемы начальными несовершенствами под действием нагрузки. Еврокод 3 [8, 9] определяет такой вид расчета как геометрически нелинейный упругий расчет с учетом дефектов (GNIA).

### Моделирование поверхности резервуара с учётом несовершенств геометрической формы

Для моделирования поверхности резервуара с учётом несовершенств геометрической формы выбран эксплуатируемый резервуар для хранения бензина объемом 1 000 м<sup>3</sup> КСП «Бешевский», результаты обследования которого, выполненные специалистами ДонНАСА, выявили значительные отклонения геометрии стенки от идеальной формы.

Геометрическая модель выполнена в программном комплексе SCAD Office при помощи математического аппарата БН-исчисление [10–13], позволяющего получить аналитические зависимости, описывающие действительную поверхность стенки резервуара, и разработанного на его основе вычислительного алгоритма [14–15].

### Схема поэтапного загрузения резервуара гидростатической нагрузкой в нелинейной постановке

При расчете с учетом геометрической нелинейности нагрузка, обычно, разбивается на доли простым введением коэффициента загрузения и количества шагов загрузения. Однако при нелинейном расчете стенки резервуара на действие гидростатической нагрузки необходимо учиты-

вать то, что гидростатическое давление увеличивается снизу вверх по мере наполнения резервуара жидкостью и не может быть приложено одновременно на всю стенку по высоте. Т. е. по мере наполнения резервуара геометрия стенки изменяется, несовершенства деформируются, и следующая часть нагрузки прикладывается к уже измененной расчетной схеме. Поэтому для исследования НДС стенки резервуара под действием гидростатической нагрузки в нелинейной постановке была реализована поэтапная схема загрузки резервуара, как показано на рисунке 1.

То есть при геометрически нелинейном упругом расчете с учетом дефектов от действия гидростатической нагрузки (GNIA) имеем 6 шагов нагружения с коэффициентом загрузки равным 1 в соответствии с количеством поясов стенки резервуара. На первом этапе нагружается первый пояс стенки резервуара, на втором – первый и второй, на третьем – первый, второй и третий и т. д. до выхода на уровень налива жидкости в резервуар.

Для обоснования необходимости учета специфики воздействия гидростатической нагрузки был выполнен расчет НДС стенки резервуара в линейной постановке (Л), в нелинейной постановке с учетом геометрической (нагрузка задается частями на всю стенку по высоте) нелинейности (ГН) и нелинейный упругий расчет с учетом дефектов (GNIA) (поэтапное нагружение) от

действия гидростатической нагрузки. Результаты расчетов в виде горизонтальных перемещений по характерному сечению представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

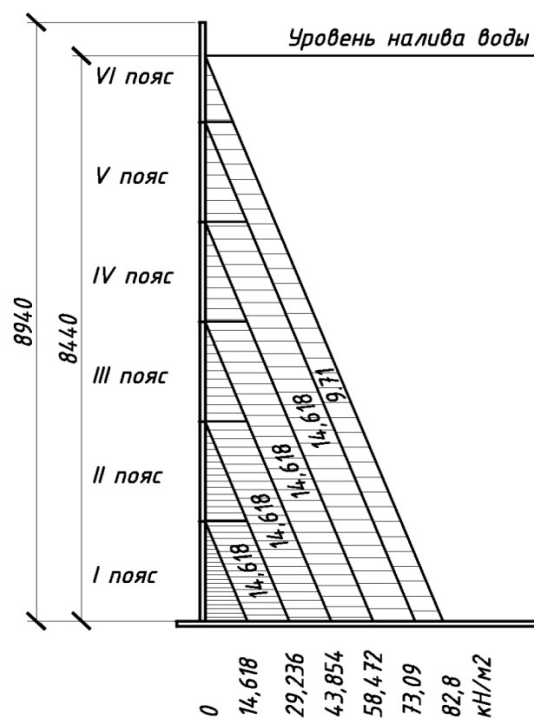


Рисунок 1. Схема поэтапного нагружения резервуара гидростатической нагрузкой в нелинейной постановке.

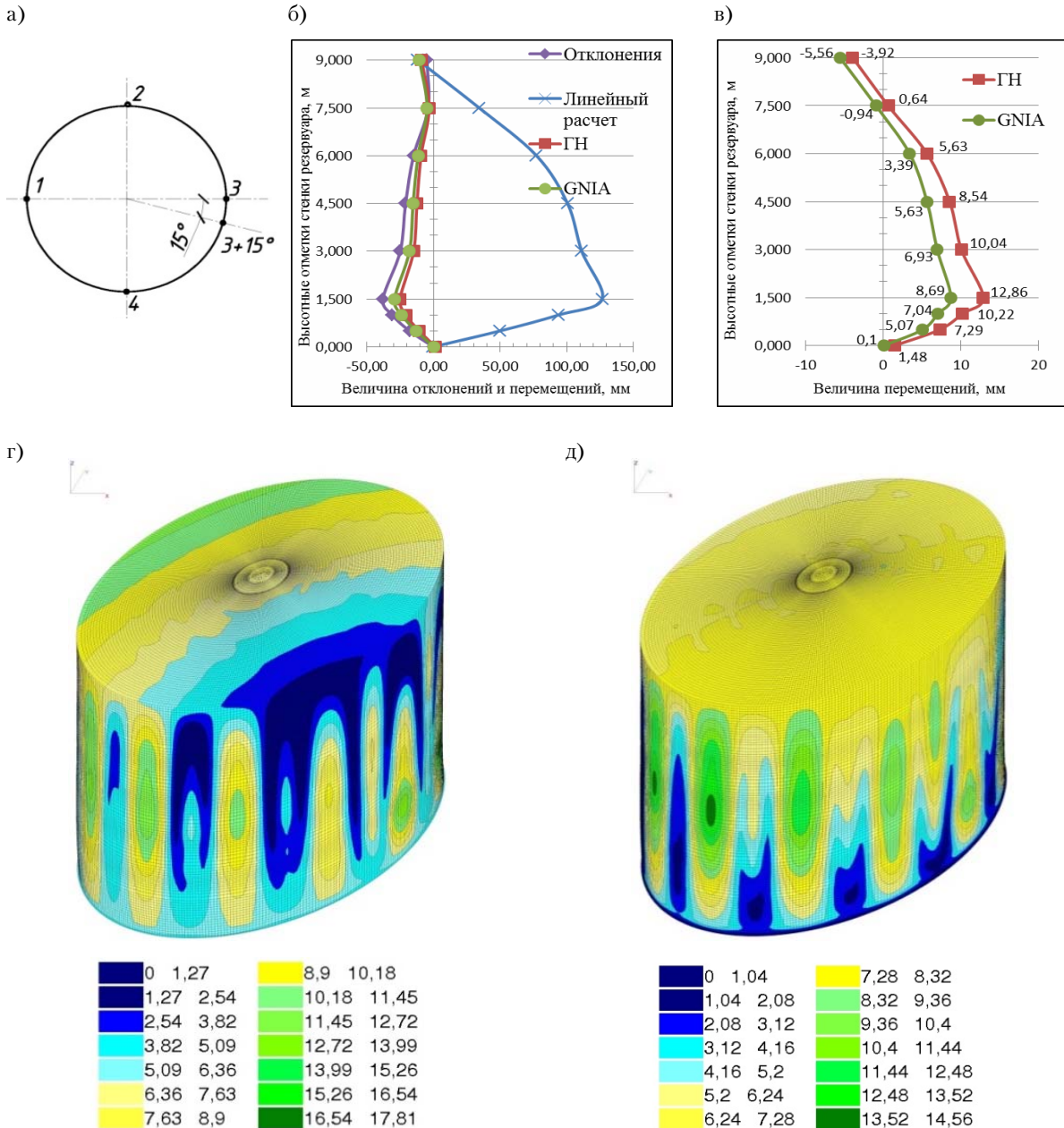
Таблица 1. Анализ горизонтальных перемещений в стенке резервуара от действия гидростатической нагрузки в зависимости от вида расчёта

Высота точек в сечении стенки резервуара, м	Первоначальные отклонения, мм	Перемещения в стенке резервуара, мм			Сравнение перемещений		
		Линейный расчет	Геометрически нелинейный расчет	Нелинейный упругий расчет с учетом дефектов	$\frac{(\delta_L - \delta_{ГН})}{\delta_{ГН}}$	$\frac{(\delta_L - \delta_{GNIA})}{\delta_{GNIA}}$	$\frac{(\delta_{ГН} - \delta_{GNIA})}{\delta_{GNIA}}$
					%	%	%
8,000	-5	-6,70	3,92	-5,56	70,92	20,50	-29,50
7,500	-4	38,34	0,64	-0,94	5 890,63	-4 178,72	-168,09
6,000	-15	92,36	5,63	3,39	1 540,50	2 624,48	66,08
4,500	-21	121,61	8,54	5,63	1 324,00	2 060,04	51,69
3,000	-25	136,27	10,04	6,93	1 257,27	1 866,38	44,88
1,500	-38	164,62	12,86	8,69	1 180,09	1 794,36	47,99
1,000	-31	124,63	10,22	7,04	1 119,47	1 670,31	45,17
0,500	-18	67,77	7,29	5,07	829,63	1 236,69	43,79
0,000	0	-0,60	1,48	0,10	-140,54	-700,00	1 380,00

Значения, приведенные в таблице 1, указывают прежде всего на несостоятельность линейного расчета при наличии несовершенств геометрической схемы и неравномерности прикладываемой нагрузки. Также при сравнении геометрически нелинейного расчета (ГН) и нелинейного упруго-

го расчета с учетом дефектов (GNIA) видно, что последний дает корректировку результатов в среднем на 40–50 % в данном сечении.

Анализ перемещений в стенке резервуара, полученных в результате ГН и GNIA расчетов, указывает на необходимость учета специфики



**Рисунок 2.** Результаты расчетов в виде горизонтальных перемещений по характерному сечению: а) характерное сечение; б) исходные отклонения и изменение геометрии стенки резервуара при различных способах расчета; в) горизонтальные перемещения в стенке резервуара без учета первоначальных отклонений при нелинейных расчетах; г) горизонтальные перемещения при расчете с учетом геометрической нелинейности (ГН), мм; д) горизонтальные перемещения при упругом расчете с учетом дефектов от действия гидростатической нагрузки (GNIA), мм.

приложения гидростатического давления при расчете стенки резервуара с наличием несовершенств геометрической формы.

Дальнейший анализ НДС резервуара с несовершенствами геометрической формы выполнен в нелинейной постановке с учетом дефектов (GNIA).

**Анализ влияния несовершенств геометрической формы на напряженно-деформированное состояние стенки резервуара**

Для анализа влияния несовершенств геометрической формы на напряженно-деформированное состояние стенки резервуара проведены исследования напряженно-деформированного состояния резервуара без дефектов, т. е. на идеализированной модели без учёта несовершенств геометрической формы, и резервуара с несовершенствами.

Все конструктивные данные, необходимые для компьютерного моделирования и численного ис-

следования идеального резервуара приняты в соответствии с типовым проектом ТП 704-1-54.

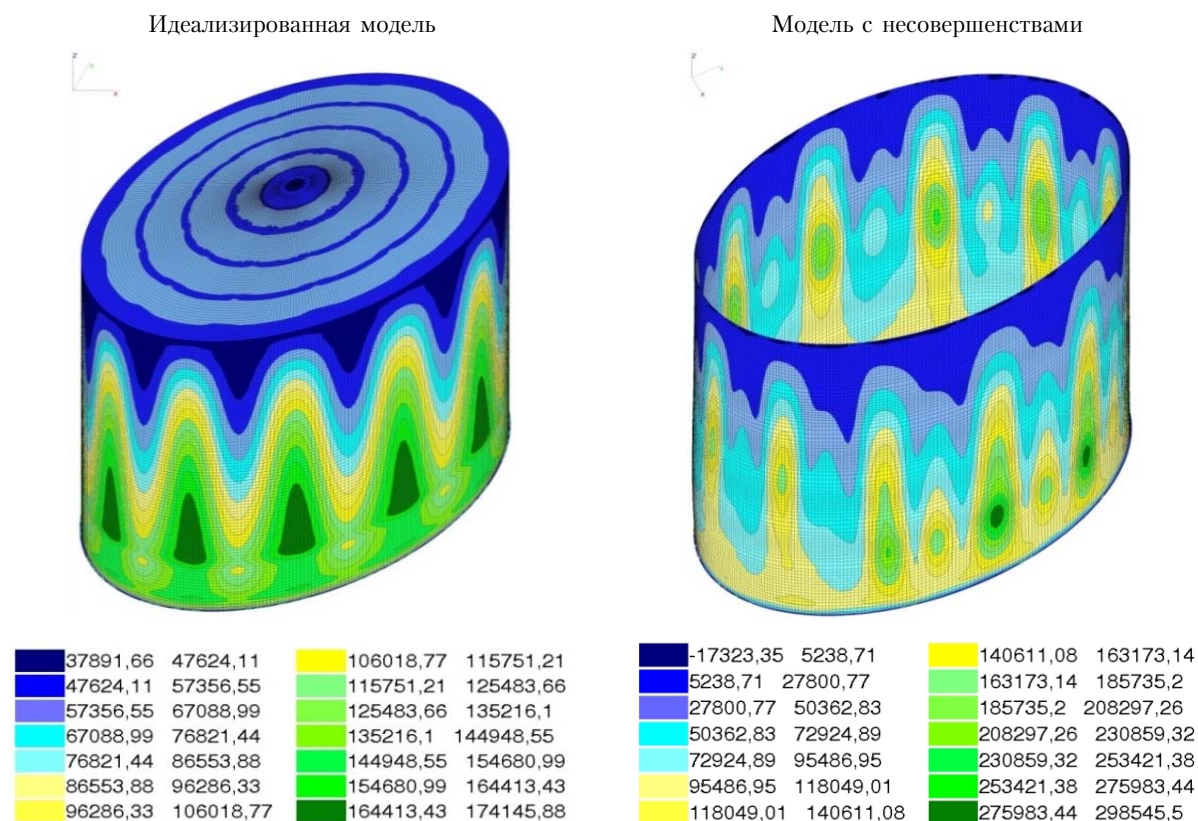
В таблицах 2–5 приведены результаты проведенного расчета.

Результаты, приведенные в табл. 3, 4, показывают, что при расчете идеализированной модели стенки резервуара значения меридиональных и касательных напряжений от совместного действия собственного веса и гидростатической нагрузки незначительны, однако при расчете модели с несовершенствами  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  оказывают значительное влияние на напряженно-деформированное состояние стенки резервуара.

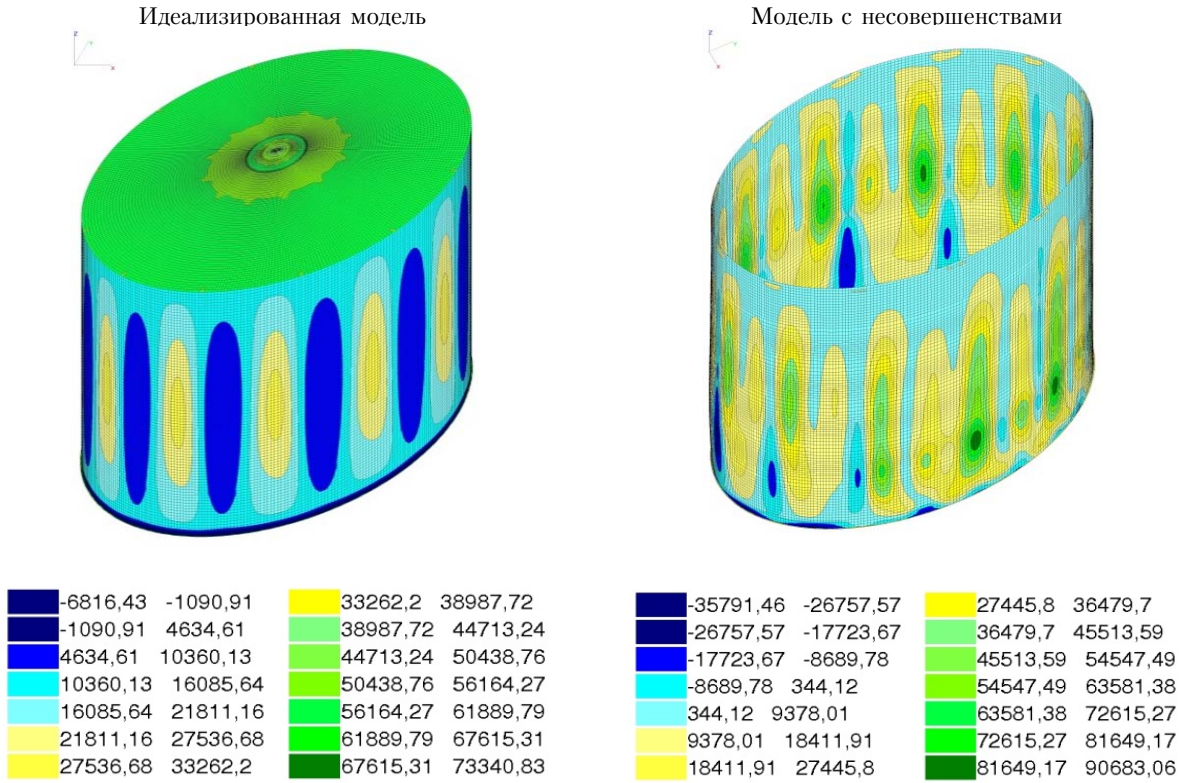
Результаты анализа влияния несовершенств геометрической формы на НДС резервуара под действием гидростатической нагрузки в нелинейной постановке приведены в таблице 6.

Как видно из анализа (табл. 6), расчет кольцевых напряжений в нелинейной постановке дает корректировку результатов аналогичных линейных исследований, однако влияние искажений

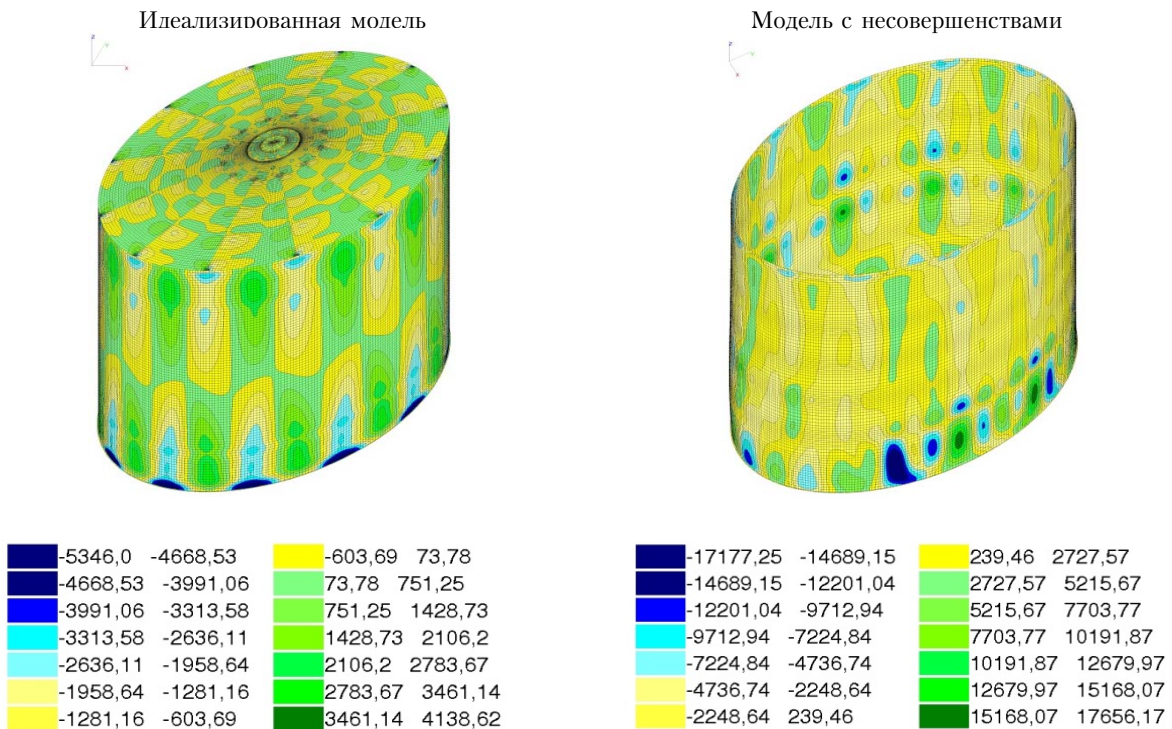
**Таблица 2.** Значение кольцевых напряжений  $\sigma_x$  от действия гидростатической нагрузки в нелинейной постановке, кН/м<sup>2</sup>



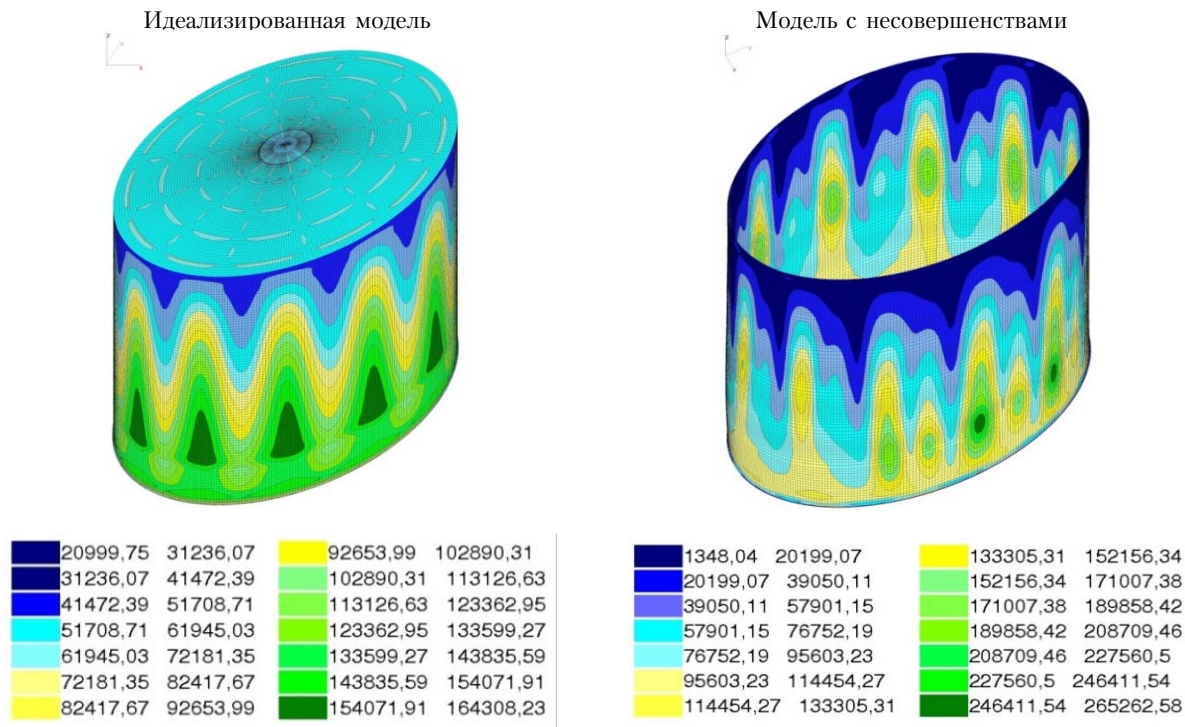
**Таблица 3.** Значение меридиональных напряжений  $\sigma_y$  от действия гидростатической нагрузки в нелинейной постановке, кН/м<sup>2</sup>



**Таблица 4.** Значение касательных напряжений  $\tau_{xy}$  от действия гидростатической нагрузки в нелинейной постановке, кН/м<sup>2</sup>



**Таблица 5.** Значение приведенных напряжений от действия гидростатической нагрузки в нелинейной постановке, кН/м<sup>2</sup>



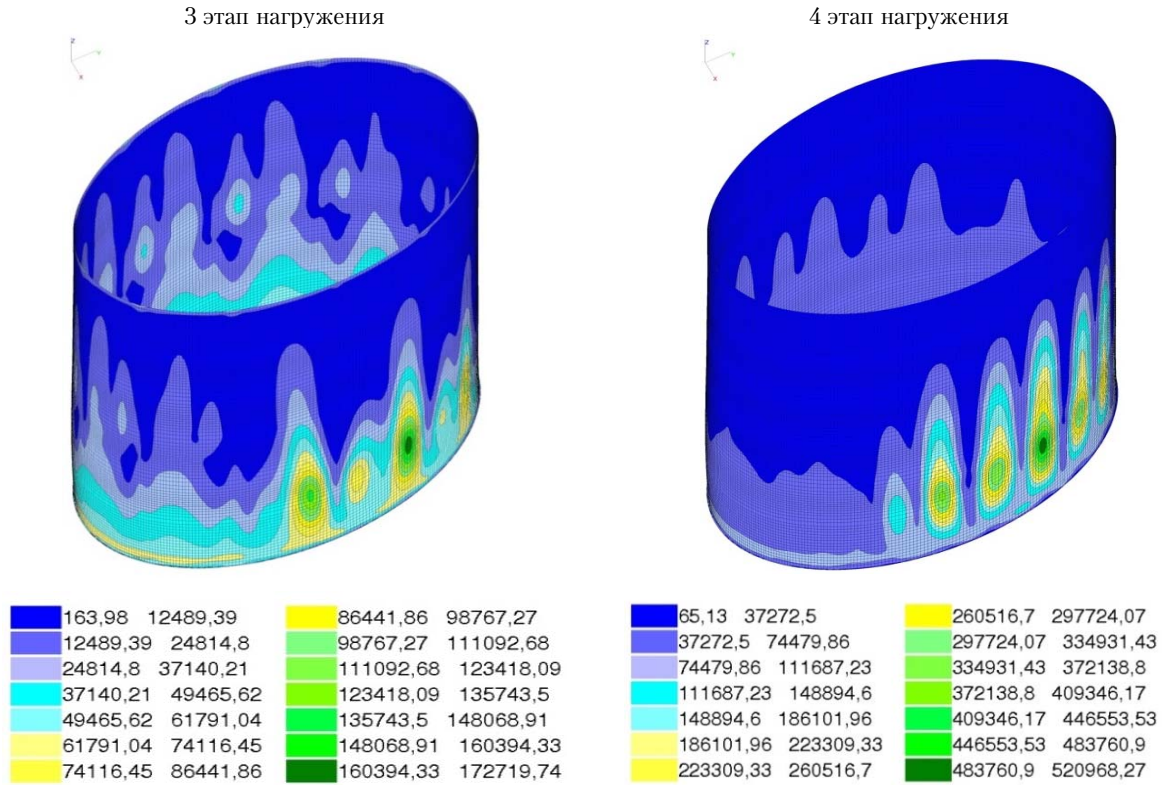
**Таблица 6.** Анализ результатов расчета НДС резервуара действия гидростатической нагрузки в нелинейной постановке

№ пояса	Напряжения в идеальной стенке, МПа				Напряжения в стенке с несовершенствами, МПа				Δ, %
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$t_{xy}$	$\sigma_{пр}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$t_{xy}$	$\sigma_{пр}$	
I	159,2	20,2	3,2	150,8	266,7	76,6	17,5	240,2	59
II	173,9	26,7	2,5	164,3	298,4	90,7	12,7	266,1	62
III	170,5	29,9	1,4	158,9	237,7	84,5	16,0	209,4	32
IV	156,1	29,9	1,6	143,6	236,1	84,4	6,8	207,7	45
V	124,1	26,8	2,5	113,2	138,3	46,9	5,9	125,0	10
VI	81,8	20,4	3,1	73,7	77,6	28,2	7,5	69,8	-5

геометрической формы на НДС стенки резервуара остается значительным. Значения приведенных напряжений в стенке резервуара с несовершенствами в среднем в 1,5 раза превышают аналогичные напряжения в резервуаре с идеализированной стенкой, за исключением верхних поясов резервуара, что говорит о значительном влиянии искажений геометрической формы на НДС стальных ВЦР и подтверждает необходимость проведенных научных исследований.

Также поэтапная схема нагружения позволяет отслеживать тенденцию изменения напряжений под действием гидростатической нагрузки. Следует отметить, что принятые для анализа параметры геометрических несовершенств в среднем на 20–40 % превышают предельные величины заданные в нормативных документах [16]. Так, на приведенных рисунках (табл. 7) видно, что при третьем этапе нагружения значения приведенных напряжений не превышают значения

**Таблица 7.** Значение приведенных напряжений в стенке резервуара с несовершенствами от совместного действия собственного веса и гидростатической нагрузки в нелинейной постановке на третьем и четвертом этапах нагружения, кН/м<sup>2</sup>



предела текучести стали, а уже четвёртый этап даёт значительное увеличение приведенных напряжений, которые превышают предел текучести почти в два раза. Таким образом, при реализации поэтапной схемы нагружения появляется возможность определения максимальной высоты налива жидкости в резервуар с учётом влияния несовершенств геометрической формы для его дальнейшей безопасной эксплуатации, которая, однако, должна быть подтверждена расчётом на устойчивость.

### Выводы

1. Обоснована необходимость использования поэтапной схемы нагружения резервуара гидростатической нагрузкой для учета геомет-

рической нелинейности, при реализации которой появляется возможность определения максимальной высоты налива жидкости в резервуар с учётом несовершенств геометрической формы для его дальнейшей безопасной эксплуатации.

2. Проведенный анализ результатов расчета НДС резервуара от действия гидростатической нагрузки в нелинейной постановке для идеализированного резервуара и для резервуара с несовершенствами показал, что приведенные напряжения в стенке резервуара с несовершенствами в среднем на 40 % превышают аналогичные напряжения в резервуаре с идеализированной стенкой, что говорит о значительном влиянии искажений геометрической формы на НДС стальных ВЦР.

### Литература

1. Егоров, Е. А. Проблемы устойчивости стальных вертикальных цилиндрических резервуаров в за-

### References

1. Yegorov, E. A.; Ismagulov, B. G.; Fedoryaka, J. V. Stability problems of steel vertical cylindrical reser-



- дачах технической диагностики [Текст] / Е. А. Егоров, Б. Г. Исмагулов, Ю. В. Федоряка // Вестник ПДАБА. 2010. Выпуск № 11 (152). С. 19–28.
2. Егоров, Е. А. Исследование вопросов устойчивости стальных вертикальных цилиндрических резервуаров [Текст] / Е. А. Егоров, Ю. В. Федоряка // Металлические конструкции. 2006. Том 9, № 1. С. 89–97.
  3. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – 4-е изд., перераб. – М. : СКАД СОФТ, 2011. – 736 с.
  4. Вычислительный комплекс SCAD [Текст] / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко [и др.]. – М. : СКАД СОФТ, 2011. – 656 с.
  5. Hornung, Uwe. Buckling loads of tank shells with imperfections [Текст] / Uwe Hornung, Helmut Saal // *International Journal of Non-Linear Mechanics*. 2002. Vol. 37, No. 4–5. P. 605–621.
  6. Prabu, B. Parametric study on buckling behaviour of dented short carbon steel cylindrical shell subjected to uniform axial compression [Текст] / B. Prabu, A. V. Raviprakash, A. Venkatraman // *Thin-Walled Structures*. 2010. 48. P. 639–649.
  7. Stress/strain state investigations for extreme points of thin wall cylindrical tanks [Текст] / Konstantin Rasiulis, Antanas Šapalas, Romualdas Vadlūga, Michail Samofalov // *Journal of Constructional Steel Research*. 2006. Vol. 62, No. 12. P. 1232–1237.
  8. BS EN 1993-1-6:2007. Eurocode 3 – Design of steel structures [Текст] – Part 1–6: Strength and stability of shell structures. – Published: 05/31/2007. – Brussels : BSI, 2007. – 94 p.
  9. BS EN 1993-4-2:2007. Eurocode 3 – Design of steel structures [Текст] – Part 4–2: Tanks. – Published: 05/31/2007. – Brussels : BSI, 2007. – 56 p.
  10. Балу́ба, И. Г. Конструктивная геометрия многообразий в точечном исчислении [Текст] : дис. ... доктора техн. наук : 05.01.01 / И. Г. Балу́ба. – Макеевка, 1995. – 227 с.
  11. Балу́ба, И. Г. Точечное исчисление [Текст] : [учебное пособие] / И. Г. Балу́ба, В. М. Найдыш ; под ред. В. М. Верещаги. – Мелитополь : МГПУ им. Б. Хмельницкого, 2015. – 236 с.
  12. Конопацький, Є. В. Геометричне моделювання алгебраїчних кривих та їх використання при конструюванні поверхонь у точковому численні Балу́би–Найдиша [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01 / Конопацький Євген Вікторович. – Мелітополь, 2012. – 164 с.
  13. Давыденко, И. П. Конструирование поверхностей пространственных форм методом подвижного симплекса [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01 / И. П. Давыденко. – Макеевка, 2012. – 186 с.
  14. Методика численного исследования напряжённо-деформированного состояния стальных вертикальных цилиндрических резервуаров с учётом несовершенств геометрической формы [Текст] / А. А. Крысько, Е. В. Конопацкий, А. Н. Миронов, во́ров in the problems of technical diagnostics. In: *Bulletin of Pridneprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2010, No. 11 (152), pp. 19–28. (in Russian)
  2. Yegorov, Ye. A.; Fedoryaka, Yu. V. Investigation of stability questions of steel vertical cylindrical tanks. In: *Metal Constructions*, 2006, Volume 9, No. 1, pp. 89–97. (in Russian)
  3. Perelmuter, A. V.; Slivker, V. I. Design models of structures and a possibility of their analysis. Fourth edition, revised. Moscow: Publisher SKAD SOFT, 2011. 736 p. (in Russian)
  4. Karpilovskiy, V.S.; Kriksunov, E.Z.; Maliarenko, A. A.; Mikitavrenko, M. A.; Perelmuter, A. V.; Perelmuter, M. A. SCAD Office. Computer system SCAD. Moscow: SKAD SOFT, 2011. 656 p. (in Russian)
  5. Hornung, Uwe; Saal, Helmut. Buckling loads of tank shells with imperfections. In: *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 2002, Vol. 37, No. 4–5, pp. 605–621.
  6. Prabu, B.; Raviprakash, A. V.; Venkatraman, A. Parametric study on buckling behaviour of dented short carbon steel cylindrical shell subjected to uniform axial compression. In: *Thin-Walled Structures*, 2010, 48, pp. 639–649.
  7. Rasiulis, Konstantin; Šapalas, Antanas; Vadlūga, Romualdas; Samofalov, Michail. Stress/strain state investigations for extreme points of thin wall cylindrical tanks. In: *Journal of Constructional Steel Research*, 2006, Vol. 62, No. 12, pp. 1232–1237.
  8. BS EN 1993-1-6:2007. Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1–6: Strength and stability of shell structures. Published: 05/31/2007. Brussels: BSI, 2007. 94 p.
  9. BS EN 1993-4-2:2007. Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 4–2: Tanks. Published: 05/31/2007. Brussels: BSI, 2007. 56 p.
  10. Balyuba, I. G. Constructive geometry of varieties in dot calculation: the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Doctor of Engineering: 05.01.01. Makeyevka, 1995. 227 p. (in Russian)
  11. Balyuba, I. G.; Naidysh, V. M.; Edited by Vereshchaga, V. M. Dot calculation: Textbook. Melitopol: MSPU named after B. Khelnitskiy, 2015. 236 p. (in Russian)
  12. Konopatskiy, E. V. Geometric simulation of algebraic curves and their application at surface detailing in Balyuba–Naidysh dot calculation: the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Candidate of Engineering: 05.01.01. Melitopol, 2012. 164 p. (in Ukrainian)
  13. Davydenko, I. P. Constructing of surfaces of spatial forms by the method of mobile simplex: the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Candidate of Engineering: 05.01.01. Makeyevka, 2012. 186 p. (in Russian)
  14. Krysko, Alexandra; Konopatskiy, Yevgeniy; Myronov, Andrey; Mushchanov, Volodymyr. Technique of Numerical Analysis of the Intense Deformed State of Steel Vertical Cylindrical Tanks with Taking into

- В. Ф. Муцанов // Металлические конструкции. 2016. Т. 22, № 1. С. 45–57.
15. Крысько, А. А. Геометрическое и компьютерное моделирование эксплуатируемых конструкций тонкостенных оболочек инженерных сооружений с учётом несовершенств геометрической формы [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01, 05.01.01 / А. А. Крысько. – Макеевка, 2016. – 193 с.
16. РД 05-95-95. Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов [Текст]. – Введ. 1995–09–01. – М.: ВНИИмонтажспецстрой, 1995. – 17 с.
- Account the Defects of Geometrical Form. In: *Metal Constructions*, 2016, Volume 22, Number 1, pp. 45–57. (in Russian)
15. Krysko, A. A. Geometrical and computer modeling of thin-walled shells operated construction of engineering structures, due to the defects of geometrical form: the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Candidate of Engineering: 05.23.01, 05.01.01. Makeyevka, 2016. 193 p. (in Russian)
16. RD 05-95-95. Regulation on technical diagnostics of welded vertical cylindrical tanks for oil and oil products. Moscow: VNIImontazhspetsstroy, 1995. 17 p. (in Russian)

**Крысько Александра Анатольевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры специализированных информационных технологий и систем ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: геометрическое и компьютерное моделирование эксплуатируемых конструкций тонкостенных оболочек инженерных сооружений с учетом несовершенств геометрической формы.

**Крысько Олександра Анатоліївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри спеціалізованих інформаційних технологій і систем ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: геометричне і комп'ютерне моделювання експлуатованих конструкцій тонкостінних оболонок інженерних споруд з урахуванням недосконалості геометричної форми.

**Krysko Alexandra** – Ph.D. (Engineering), Associate Professor of Specialized Information Technologies and Systems Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: geometrical and computer design of on-the-road constructions of the thin-walled shells of engineering building taking into account the defects of geometrical form.