



(20)-0417-1

## НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНОЙ СТЕНКИ СТАЛЬНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО УДАРА ВСЛЕДСТВИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

**И. В. Роменский<sup>а,1</sup>, А. Н. Миронов<sup>а,2</sup>, Р. В. Пилецкий<sup>б,3</sup>**

<sup>а</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

<sup>б</sup> Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий  
стихийных бедствий Донецкой Народной Республики,  
60, ул. Щорса, г. Донецк, ДНР, 83114.

E-mail: <sup>1</sup> riv\_2005@mail.ru, <sup>2</sup> andreyp@mail.ru, <sup>3</sup> romanpiletskij@mail.ru

Получена 28 октября 2020; принята 27 ноября 2020.

**Аннотация.** В статье рассмотрены подходы, повышающие надежность и безопасность эксплуатации стальных вертикальных цилиндрических резервуаров. Обосновано конструктивное решение в виде устройства дополнительной защитной стенки. Это обеспечивает экологическую безопасность и минимизирует последствия аварий, связанных с нарушением целостности основной стенки резервуара и вылива в течение короткого промежутка времени всей хранящейся жидкости. Предложена пространственная расчётная модель резервуара с защитной стенкой в ПК «Лира». Определены параметры аварийной гидродинамической нагрузки, действующей на защитную стенку резервуара. Приведены результаты исследования влияния гидродинамической нагрузки на напряжённо-деформированное состояние защитной стенки. Выявлены значительные напряжения и деформации, превышающие нормативные требования. Предложены решения по усовершенствованию конструкции защитной стенки. Установка верхнего обвязочного и нескольких ярусов колец жёсткости, а также увеличение толщины опорной части днища обеспечивают прочность и устойчивость защитной стенки при воздействии нагрузки гидродинамического удара.

**Ключевые слова:** стальной вертикальный цилиндрический резервуар, защитная стенка, напряжённо-деформированное состояние, квазимгновенное разрушение, гидродинамический удар, чрезвычайная ситуация.

## НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗАХИСНОЇ СТІНКИ СТАЛЕВОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО РЕЗЕРВУАРА ПІД ВПЛИВОМ ГІДРОДИНАМІЧНОГО УДАРУ ВНАСЛІДОК ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

**І. В. Роменський<sup>а,1</sup>, А. М. Миронов<sup>а,2</sup>, Р. В. Пілецький<sup>б,3</sup>**

<sup>а</sup> ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

<sup>б</sup> Міністерство у справах цивільної оборони, надзвичайних ситуацій і ліквідації наслідків стихійних лих  
Донецької Народної Республіки,  
60, вул. Щорса, м. Донецьк, ДНР, 83114.

E-mail: <sup>1</sup> riv\_2005@mail.ru, <sup>2</sup> andreyp@mail.ru, <sup>3</sup> romanpiletskij@mail.ru

Отримана 28 жовтня 2020; прийнята 27 листопада 2020.

**Анотація.** У статті розглянуті підходи, що підвищують надійність і безпеку експлуатації сталевих вертикальних циліндричних резервуарів. Обґрунтовано конструктивне рішення у вигляді використання додаткової захисної стінки. Це забезпечує екологічну безпеку і мінімізує наслідки аварій, пов'язаних з порушенням цілісності основної стінки резервуара і вилливу протягом короткого часу всієї рідини. Запропоновано просторову розрахункову модель резервуара із захисною стінкою в ПК «Ліра». Визначено параметри аварійного гідродинамічного навантаження, що діє на захисну стінку резервуара. Наведено результати дослідження впливу гідродинамічного навантаження на напружено-деформований стан захисної стінки. Виявлені значні напруження і деформації, що перевищують нормативні вимоги. Запропоновано рішення щодо удосконалення конструкції захисної стінки. Установлення верхнього обв'язувального і декількох ярусів кілець жорсткості, а також збільшення товщини опорної частини днища забезпечують міцність і стійкість захисної стінки під впливом навантаження гідродинамічного удару.

**Ключові слова:** сталевий вертикальний циліндричний резервуар, захисна стінка, напружено-деформований стан, квазімиттєве руйнування, гідродинамічний удар, надзвичайна ситуація.

## STRESS-STRAIN STATE OF THE PROTECTIVE WALL OF A STEEL VERTICAL CYLINDRICAL TANK UNDER THE INFLUENCE OF HYDRODYNAMIC SHOCK DUE TO EMERGENCY SITUATIONS

Igor Romenskii <sup>a,1</sup>, Andrey Mironov <sup>a,2</sup>, Roman Piletskiy <sup>b,3</sup>

<sup>a</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.

<sup>b</sup> Ministry of Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters of the Donetsk People's Republic,  
60, Shchorsa Str., Donetsk, DPR, 83114.

E-mail: <sup>1</sup> riv\_2005@mail.ru, <sup>2</sup> andreyexp@mail.ru, <sup>3</sup> romanpiletskij@mail.ru

Received 28 October 2020; accepted 27 November 2020.

**Abstract.** The article discusses approaches that increase the reliability and safety of operation of steel vertical cylindrical tanks. A constructive solution in the form of an additional protective wall is substantiated. This ensures environmental safety and minimizes the consequences of accidents associated with the violation of the integrity of the main wall of the tank and the outflow of all stored liquid within a short period of time. A spatial design model of a reservoir with a protective wall in the Lira PK is proposed. The parameters of the emergency hydrodynamic load acting on the protective wall of the tank are determined. The results of the study of the influence of hydrodynamic load on the stress-strain state of the protective wall are presented. Significant stresses and deformations exceeding the regulatory requirements were determined. Solutions to improve the design of the protective wall are proposed. The installation of an upper strapping and several tiers of stiffening rings, as well as an increase in the thickness of the supporting part of the bottom, ensure the strength and stability of the protective wall when exposed to a hydrodynamic shock load.

**Keywords:** steel vertical cylindrical tank, protective wall, stress-strain state, quasi-instantaneous failure, hydrodynamic shock, emergency.

### Формулировка проблемы

Наиболее опасные чрезвычайные ситуации при эксплуатации стальных вертикальных цилиндрических резервуаров возникают при квази-мгновенном (внезапном) разрушении стенки резервуара вследствие потери целостности

корпуса и вылива в течение короткого промежутка времени (не более 10...15 с) всей хранящейся жидкости в виде волны прорыва [1, 16].

Волна прорыва способна переклестнуть нормативные преграды, разрушить технологическое оборудование, соседние здания и сооружения (рис. 1). При наихудшем сценарии разрушения

резервуара существует высокая вероятность возникновения пожара пролива нефти или нефтепродуктов на значительной площади.

Обустройство защитных сооружений вокруг резервуаров в виде земляных обвалований, ограждающих стен из негорючих материалов, а также обустройство противопожарных разрывов способно локализовать растекание нефти и нефтепродуктов и снизить возможные последствия аварии. Однако такие защитные сооружения требуют выделения значительных территорий под их обустройство, которые отсутствуют в стеснённых городских условиях и при близком расположении к акватории морей и рек [2].

Одним из перспективных способов повышения экологической безопасности и минимизации последствий аварий, связанных с внезапным разрушением стенки резервуара, является сооружение резервуара с защитной стенкой (рис. 2). Внутренняя стенка относится к резервуару, содержащему нефтепродукты, а наружная стенка играет роль предохранительной стенки, способной в случае аварии вместить 100 % продуктов, хранимых во внутреннем резервуаре [2, 13, 16].

Резервуары с защитной стенкой рекомендуются при повышенных требованиях к безопасности, например при расположении резервуаров вблизи жилых зон или по берегам водоёмов, а также на производственных площадках, при нехватке места для устройства обвалования или каре вокруг резервуаров [3].

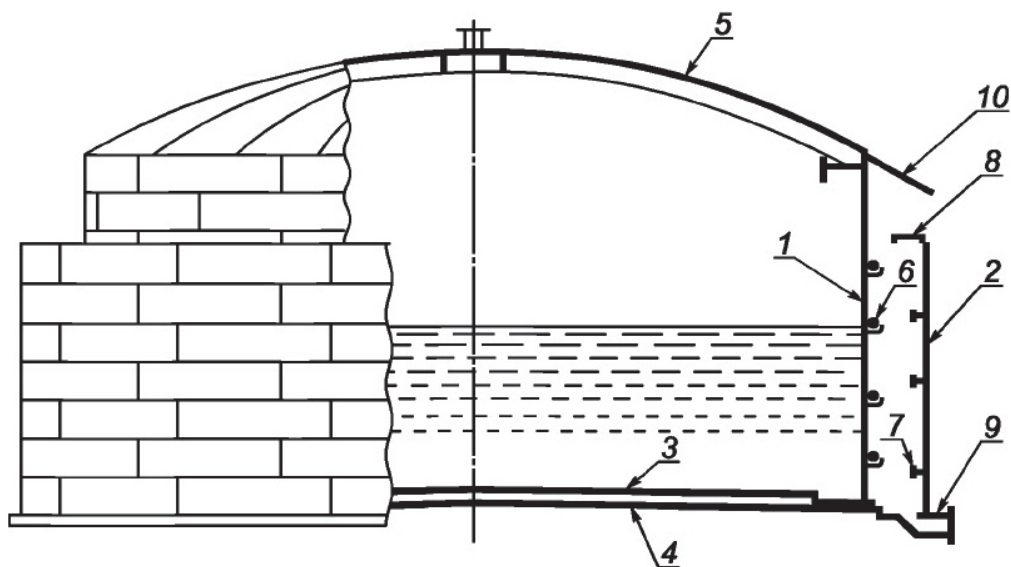
Анализ последних исследований и публикаций в области проектирования резервуаров с защитной стенкой показывает значительное внимание к таким конструктивным решениям [14, 15, 17, 18]. Влияние нагрузок от гидродинамического удара на напряженно-деформированное состояние защитной стенки изучено недостаточно.

### Цель исследования

Исследовать влияния гидродинамической нагрузки на напряжённо-деформированное состояние защитной стенки при возникновении чрезвычайных ситуаций на примере стального вертикального цилиндрического резервуара ёмкостью 30 000 м<sup>3</sup> для хранения нефти (далее – РВС)



**Рисунок 1.** Последствия аварийного разлива нефтепродуктов, вызвавшее разрушение технологического оборудования и загрязнение почвы.



**Рисунок 2.** Резервуар с защитной стенкой: 1 – основная стенка; 2 – защитная стенка; 3 – основное днище; 4 – защитное днище; 5 – стационарная крыша; 6 – аварийные канаты; 7 – кольца жесткости; 8 – ветровое кольцо; 9 – лотковый зумпф, 10 – атмосферозащитный козырек.

с целью повышения уровня безопасности и совершенствования конструктивных решений резервуара.

### Основной материал

Для достижения цели исследования решены следующие задачи:

1. На основании аналитического расчёта определены основные параметры конструкций РВС с защитной стенкой.
2. Определена гидродинамическая нагрузка на защитную стенку РВС.
3. Создана численная расчётная модель РВС с защитной стенкой.
4. Получены значения и выполнен анализ напряжённо-деформированного состояния защитной стенки и крайков днища.
5. Предложены конструктивные мероприятия по усилению защитной стенки РВС на участках возникновения наибольших деформаций и напряжений.

### Конструктивные параметры РВС с защитной стенкой

В соответствии с рекомендуемыми геометрическими параметрами для РВС согласно [3, 4], принимаем:

- диаметр / радиус основного резервуара – 45,6 / 22,8 м;
- высоту стенки основного резервуара – 18 м, количество поясов – 8, высота каждого пояса – 2,25 м.
- диаметр / радиус защитного резервуара – 49,6 / 24,8 м;
- высота защитной стенки – 15,75 м, количество поясов – 7, высота каждого пояса – 2,25 м.

Стационарная крыша для основного резервуара принята в соответствии с Типовым проектом 704-1-172.84 «Резервуар стальной вертикальный цилиндрический для нефти и нефтепродуктов ёмкостью 30 000 м<sup>3</sup>».

Результаты значений параметров стенок основного и защитного РВС получены на основании расчетов [3, 4] и представлены в таблице 1. Толщина крайков днища принята по расчету [4] равной 16 мм.

### Определение гидродинамической нагрузки на защитную стенку РВС

В нормативной литературе предложены методы расчёта основной и защитной стенок на прочность и устойчивость от гидростатического давления жидкости, снеговой, ветровой нагрузки, нагрузки от собственного веса конструкций, избыточного давления, которые позволяют подобрать

**Таблица 1.** Значения параметров стенок основного и защитного РВС

Номер пояса	Высота пояса, м	Толщина, мм	Марка стали	R, МПа
<b>ОСНОВНОЙ РЕЗЕРВУАР</b>				
I	2,25	24	C345	184,80
II	2,25	22	C345	184,80
III	2,25	20	C255	169,70
IV	2,25	18	C255	169,70
V	2,25	16	C255	169,70
VI	2,25	14	C255	169,70
VII	2,25	12	C255	169,70
VIII	2,25	10	C255	169,70
<b>ЗАЩИТНЫЙ РЕЗЕРВУАР</b>				
I	2,25	24	C345	184,80
II	2,25	22	C345	184,80
III	2,25	20	C255	169,70
IV	2,25	18	C255	169,70
V	2,25	16	C255	169,70
VI	2,25	14	C255	169,70
VII	2,25	12	C255	169,70

толщины поясов защитной и основной стенок, учесть нагрузку от гидродинамического удара жидкости в случае возникновения чрезвычайной ситуации [3–10]. Величина и распределение гидродинамической нагрузки на защитную стенку

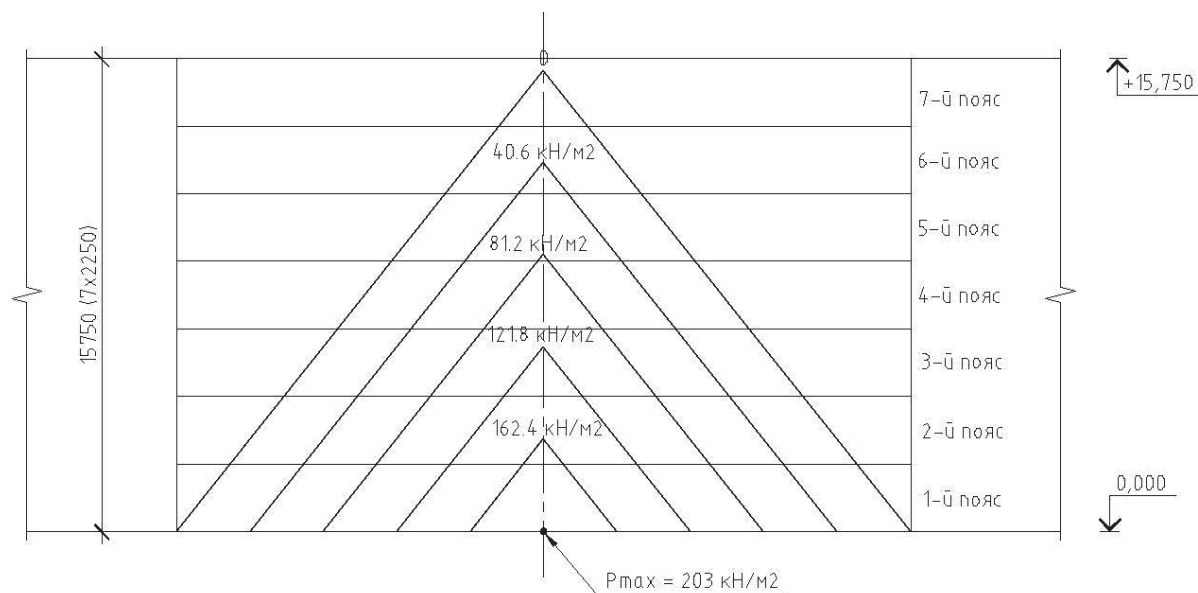
РВС (рис. 3) приведены в Приложении П.17 [4]. Интенсивность нагрузки может достигать значений до 203 кН/м<sup>2</sup>. Однако аналитическая методика расчёта защитной стенки от действия гидродинамической нагрузки отсутствует. Поэтому для расчета защитной стенки на данный вид воздействия необходимо применить численные методы.

*Создание расчётной конечно-элементной модели резервуара в ПК «Лира»*

Точность полученных результатов численного метода расчета зависит от ряда факторов, в том числе и от корректности используемой расчетной схемы (густоты расчетной сетки, типов используемых конечных элементов, учета нелинейных факторов, дополнительных параметров проектирования в виде технологических, конструктивных и других особенностей).

Численный метод расчета РВС с защитной стенкой был реализован в ПК «Лира» [12]. Для этого была создана расчетная модель РВС с размерами конечных элементов защитной стенки 1,125×1,13 м (рис. 4). На защитную стенку приложены нагрузки от собственного веса металлоконструкций, ветровая нагрузка, нагрузка от гидростатического давления жидкости, аварийная нагрузка (гидродинамическая нагрузка) [11].

В соответствии с СТО-СА-03-002-2009 [4] защитное днище по периметру опирается на



**Рисунок 3.** Значения гидродинамической нагрузки приложенной на защитную стенку РВС.

кольцевой железобетонный фундамент, являющийся общим фундаментом для основной и защитной стенок. Центральная часть защитного днища опирается на гидрофобный слой. Выполнен расчет деформации основания (осадки) под железобетонным фундаментом и под гидрофобным слоем. Найдены коэффициенты жёсткости основания в двух точках: под основной и защитной стенками резервуара  $C_z = 7,127 \text{ МН/м}^3$  и под центральной частью днища  $C_z = 2,398 \text{ МН/м}^3$  [11] (рис. 5).

*Расчёт и анализ напряжённо-деформированного состояния защитной стенки РВС от воздействия гидродинамической нагрузки*

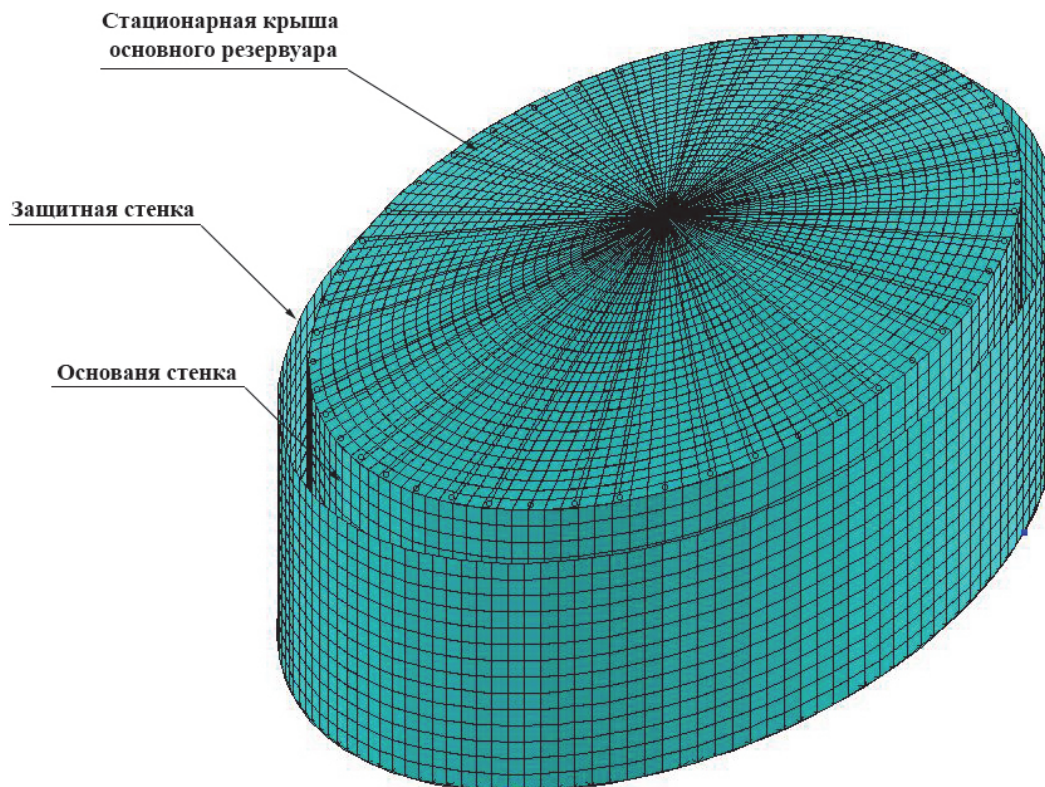
В результате произведенного численного расчёта РВС с защитной стенкой в ПК «Лира», получены напряжения в защитной стенке резервуара и окрайках днища. Выявлено, что напряжения превышают расчётное сопротивление стали: в защитной стенке на 5,5 %, в окрайках днища на 33,4 %. Возникают значительные перемещения в защитной стенке резервуара (рис. 5).

Направлениями решений данной проблемы являются:

1. Увеличение толщины окрайков и защитной стенки РВС.
2. Обустройство защитной стенки РВС кольцами жёсткости для восприятия гидродинамической нагрузки [14,15].

*Влияние обвязочного кольца на напряжённо-деформированное состояние защитной стенки*

С целью уменьшения напряжений в защитной стенке РВС и окрайках днища и уменьшения перемещений в верхнем поясе резервуара установлено обвязочное кольцо с поперечным сечением в виде тавра (полка – 400×30 мм, стенка – 1000×18 мм). Установка обвязочного кольца снизила напряжения в защитной стенке (на 26,7 %) и окрайках днища (на 9,3 %). В полке обвязочного кольца возникают значительные напряжения (394 МПа) рис. 6, которые превышают расчётное сопротивление стали С345 на 29,2 %. Перемещения составили: по оси X – 164 мм, по оси Y – 406 мм, по оси Z – 74,52 мм.



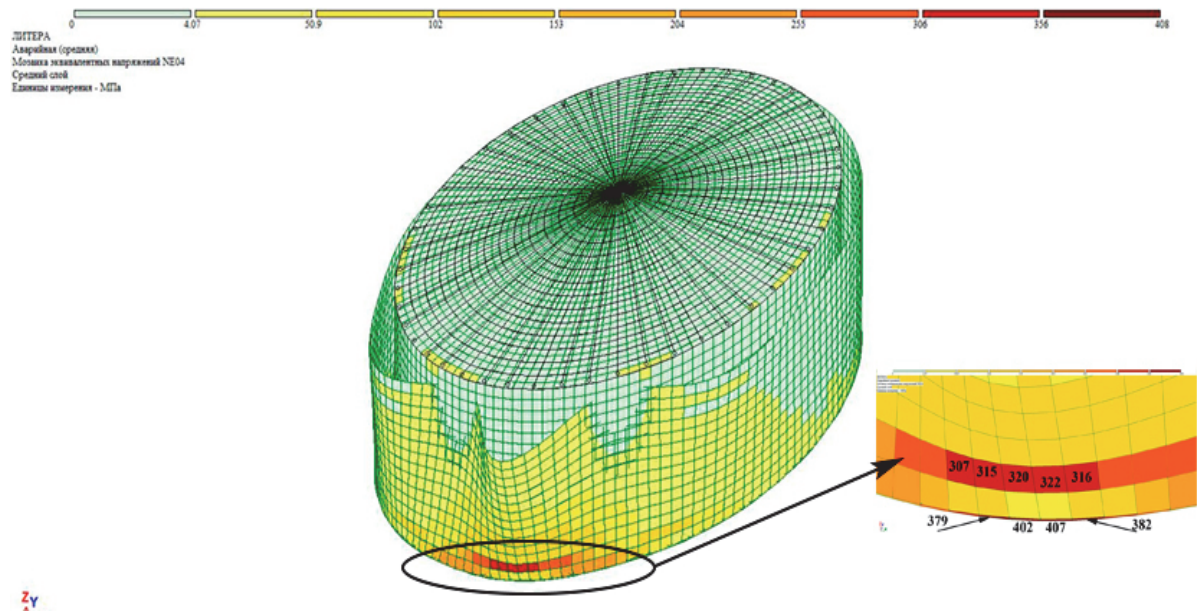
**Рисунок 4.** Общий вид расчётной модели РВС с защитной стенкой.

*Установка колец жёсткости для снижения напряжений в обвязочном кольце и защитной стенке РВС*

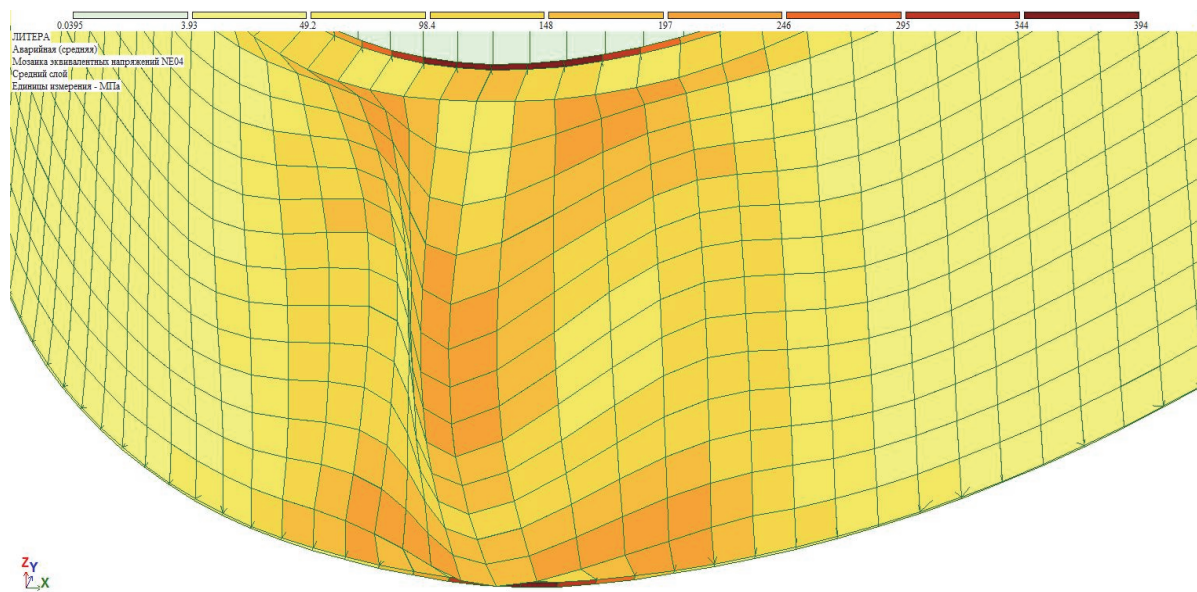
С целью снижения напряжений в защитной стенке, обвязочном кольце и крайках дна установлены три ряда колец жёсткости с равномер-

ным шагом (рис. 7), сечением в виде тавра (полка – 200×30 мм, стенка – 500×18 мм). Толщина крайков дна увеличена с 16 до 18 мм.

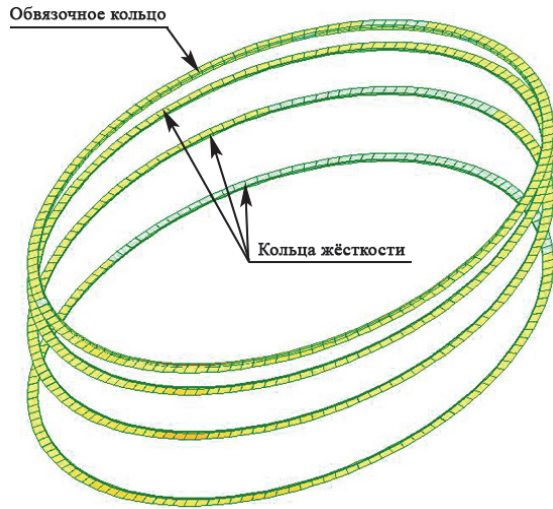
После установки обвязочного кольца и колец жёсткости перемещения и напряжения значительно снизились (таблица 2).



**Рисунок 5.** Напряженно-деформированное состояние защитной стенки РВС от воздействия гидродинамического удара.



**Рисунок 6.** Напряженно-деформированное состояние защитной стенки с обвязочным кольцом от воздействия гидродинамического удара.

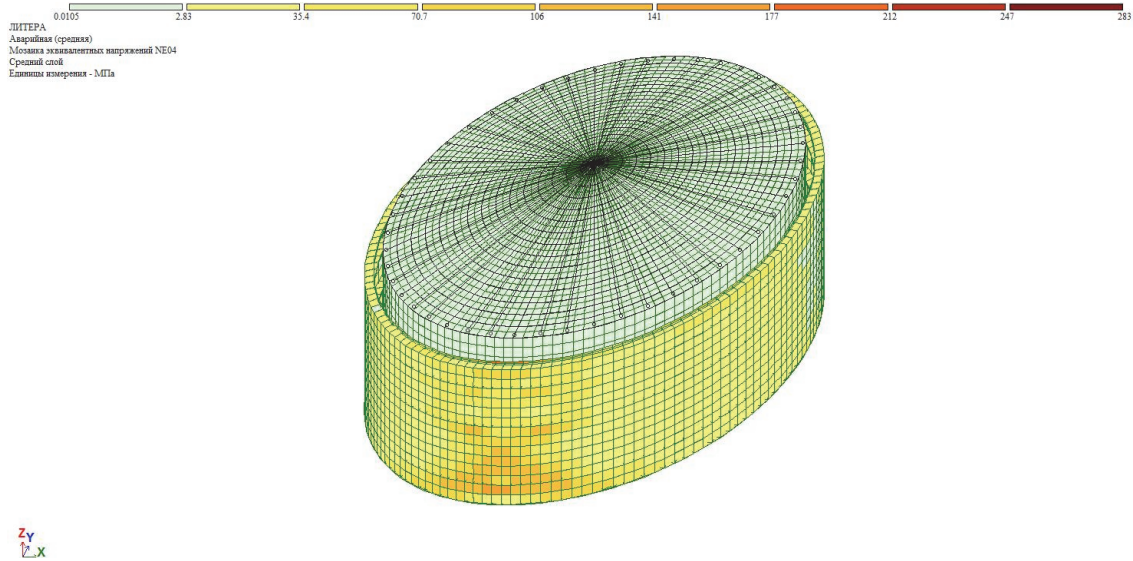


**Рисунок 7.** Общий вид обвязочного кольца и колец жёсткости на защитной стенке РВС.

После увеличения толщины крайков дна до 18 мм и установки колец жёсткости напряжения в полке обвязочного кольца, крайках дна и защитной стенке РВС не превысили расчетное сопротивление стали.

Таким образом, предложенные конструктивные мероприятия обеспечили прочность защитной стенки РВС при возникновении гидродинамического удара. Соответственно обеспечена и безопасность РВС для окружающей среды при возникновении чрезвычайной ситуации, связанной с разрушением основной стенки и разливом хранимого продукта (нефти).

Общий вид напряжений, возникающих в РВС с защитной стенкой после установки обвязочного кольца и колец жёсткости, увеличения толщины крайков дна, приведен на рисунке 8.



**Рисунок 8.** Общий вид напряжений, возникающих в РВС с защитной стенкой после установки обвязочного кольца, колец жёсткости и увеличения толщины крайков дна.

**Таблица 2.** Значения напряжений и перемещений в защитной стенке

Установка на защитную стенку	σ, МПа		Перемещения по оси X, мм	Перемещения по оси Y, мм	Перемещения по оси Z, мм
	Полка обвязочного кольца	Окрайки			
Обвязочное кольцо	390	394	164	406	74,52
Обвязочное кольцо, кольца жесткости (3 шт.), крайки (δ=18 мм)	186	283	116	177	54,7



**Общие выводы**

1. Предложена пространственная расчётная модель РВС с защитной стенкой в ПК «Ли́ра». Количество конечных элементов в расчётной модели РВС с защитной стенкой – 14 864 шт., узлов – 12 992 шт. Размеры конечных элементов основной стенки резервуара приняты равными 1,125×1,125 м, а защитной стенки – 1,125×1,13 м.
2. Определены схема приложения и значения аварийной (гидродинамической) нагрузки, приложенной к защитной стенке резервуара. Интенсивность нагрузки меняется в пределах от 0 до 203 кН/м<sup>2</sup>.

3. Произведен расчёт резервуара с использованием ПК «Ли́ра». Выявлено, что напряжения превышают расчётное сопротивление стали в защитной стенке на 5,5 %, в крайках днища на 33,4 %. Возникают значительные перемещения в защитной стенке РВС.
4. Установка на защитной стенке обвязочного и трех ярусов колец жёсткости, а также увеличение толщины крайков днища с 16 до 18 мм уменьшили напряжения в защитной стенке на 45 %, крайках на 30 %. При этом полученные напряжения не превышают расчётное сопротивление стали С345.

**Литература**

1. Швырков, С. А. Пожарный риск при квази-мгновенном разрушении нефтяного резервуара [Текст] : автореф. дис... д-ра техн. наук / С. А. Швырков. – М., 2013. – 48 с.
2. Пилецкий, Р. В. Техногенные аварии при разрушении резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов и способы их предупреждения [Текст] / Р. В. Пилецкий, Т. С. Башева // Научный журнал Академии гражданской защиты МЧС ДНР «Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования». 2019. № 1(2). С. 215–219.
3. ГОСТ 31385-2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 31385-2008 ; введ. 2017-03-01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 96 с.
4. СТО-СА-03-002-2009. Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов [Текст]. – Введен впервые; введ. 2009-05-19. – М. : РОСТЕХЭКСПЕРТИЗА, 2009. – 216 с.
5. Лессиг, Е. Н. Листовые металлические конструкции [Текст] / Е. Н. Лессиг, А. Ф. Лилеев, А. Г. Соколов. – М. : Стройиздат, 1970. – 488 с.
6. API 650: Welded Steel Tanks for Oil Storage [Текст]. Publication date 2007-01-01. Washington : American Petroleum Institute, 2007. – 436 p.
7. EVS-EN 14015:2004. Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above [Текст]. – Supersedes BS 2654:1989; This European Standard was approved by CEN on 01 November 2004. – Brussels : CEN, 2004. – 250 p.

**References**

1. Shvyrkov, S. A. Fire risk in case of quasi-instantaneous destruction of an oil reservoir [Text] : abstract of DSc. Thesis in Engineering. M., 2013. 48 p. (in Russian)
2. Piletsky, R. V.; Bashevaya, T. S. Technogenic accidents during the destruction of storage tanks for oil and oil products and methods of their prevention [Text]. In: *Scientific journal of the Academy of Civil Protection MES DPR «Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement»*. 2019. № 1(2). P. 215–219. (in Russian)
3. GOST 31385-2016. Vertical cylindrical steel tanks for oil and oil products. General specifications [Text]. M. : Standartinform, 2016. 96 p. (in Russian)
4. STO-SA-03-002-2009. Rules for the design, manufacture and installation of vertical cylindrical steel tanks for oil and oil products [Text]. M. : ROSTECHEXPERTIZA, 2009. 216 p. (in Russian)
5. Lessig, Ye. N.; Lileyev, A. F.; Sokolov, A. G. Sheet metal structures [Text]. M. : Stroyizdat, 1970. 488 p. (in Russian)
6. API 650: Welded Steel Tanks for Oil Storage [Text]. Publication date 2007-01-01. Washington : American Petroleum Institute, 2007. 436 p. (in English)
7. EVS-EN 14015:2004. Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above [Text]. Brussels : CEN, 2004. 250 p. (in English)
8. EN 1993-4-2: 2007. Eurocode 3. Design of steel structures [Text]. Part 4-2: Tanks. Brussels : CEN, 2007. 56 p. (in English)
9. DBN V.1.2-2:2006. Loads and Impacts [Text]. K. : Ministry of Construction of Ukraine, 2006. 61 p. (in Russian)

8. EN 1993-4-2: 2007. Eurocode 3. Design of steel structures [Текст]. Part 4-2: Tanks. – Supersedes ENV 1993-4-2: 1999 ; This European Standard was approved by CEN on 12 June 2006. – Brussels: CEN, 2007. – 56 p.
9. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования [Текст]. – Введен впервые ; введ. 2007-01-01. – К. : Минстрой Украины, 2006. – 61 с.
10. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции [Текст] : актуализированная редакция СНиП II-23-81\* ; введ. 2017-08-28. – М. : Минстрой России, 2017. – 140 с.
11. Роменский, И. В. Напряжённо-деформированное состояние защитной стенки стального вертикального цилиндрического резервуара при воздействии гидродинамического удара вследствие квазимгновенного разрушения стенки основного резервуара [Электронный ресурс] / И. В. Роменский, А. Н. Миронов, Р. В. Пилецкий // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2018. Вып. 2018-4(132) Научно-технические достижения студентов строительной-архитектурной отрасли. Том 1. Современная строительная наука и инженерия. С. 83–86. – Режим доступа : [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2018/vestnik\\_2018-4\(132\)\\_tom\\_1.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2018/vestnik_2018-4(132)_tom_1.pdf).
12. Водопьянов, Р. Ю. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2015. Руководство пользователя. Обучающие примеры [Текст] : учебное пособие / Р. Ю. Водопьянов, В. П. Титок, А. Е. Артемонова ; под ред. академика РААСН А. С. Городецкого. – Москва : Электронное издание, 2015. – 460 с.
13. Гайсин, Э. Ш. Современное состояние проблем обеспечения надежности резервуаров для нефти и нефтепродуктов [Текст] / Э. Ш. Гайсин, М. Ш. Гайсин // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2016. № 2. С. 31–40.
14. Егоров, Е. А. Устойчивость вертикальных стальных резервуаров с кольцевыми ребрами жесткости [Текст] / Е. А. Егоров, К. И. Дмитренко // Строительство, материаловедение, машиностроение. 2013. № 69. С. 182–186.
15. Муцанов, В. Ф. Обеспечение устойчивости стенок резервуаров на основе рационального расположения колец жесткости [Текст] / В. Ф. Муцанов, М. Н. Цепляев // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 9(72). С. 58–73.
16. Швырков, С. А. Статистика квазимгновенных разрушений резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов [Текст] / С. А. Швырков, С. А. Горячев, В. П. Сорокоумов // Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16, № 6. С. 48–52.
17. Bu, F. On the Rational Design of the Top Wind Girder of Large Storage Tanks [Текст] / F. Bu, C. Qian // Thin-Walled Structures. 2016. Vol. 99. P. 91–96. (in English)
18. SP 16.13330.2017. Steel structures [Text]. M. : Ministry of Construction of Russia, 2017. 140 p. (in Russian)
19. Romensky, I. V.; Mironov, A. N.; Piletsky, R. V. Stress-strain state of the protective wall of a steel vertical cylindrical tank under the influence of a hydrodynamic shock due to quasi-instantaneous destruction of the main tank wall [Electronic resource]. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2018. Issue 2018-4(132) Scientific and technical achievements of students in the construction and architectural industry. Volume 1. Modern building science and engineering. P. 83–86. Access mode : [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2018/vestnik\\_2018-4\(132\)\\_tom\\_1.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2018/vestnik_2018-4(132)_tom_1.pdf). (in Russian)
20. Vodopyanov, R. Yu.; Titok, V. P.; Artemonova, A. Ye. LIRA-SAPR software package 2015. User guide. Tutorial examples [Text] : textbook. Edited by academician of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences A. S. Gorodetsky. Moscow : Electronic edition, 2015. 460 p. (in Russian)
21. Gaysin, E. Sh.; Gaysin, M. Sh. The current state of the problems of ensuring the reliability of tanks for oil and oil products [Text]. In: *Transportation and storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials*. 2016. № 2. P. 31–40. (in Russian)
22. Yegorov, Ye. A.; Dmitrenko, K. I. Stability of vertical steel tanks with annular stiffeners [Text]. In: *Construction, materials science, mechanical engineering*. 2013. № 69. P. 182–186. (in Russian)
23. Mushchanov, V. F.; Tseplyayev, M. N. Ensuring the stability of the tank walls based on the rational arrangement of the stiffening rings [Text]. In: *Construction of unique buildings and structures*. 2018. № 9(72). P. 58–73. (in Russian)
24. Shvyrkov, S. A.; Goryachev, S. A.; Sorokoumov, V. P. Statistics of quasi-instantaneous destruction of storage tanks for oil and oil products [Text]. In: *Fire and explosion safety*. 2007. Vol. 16, № 6. P. 48–52. (in Russian)
25. Bu, F.; Qian, C. On the Rational Design of the Top Wind Girder of Large Storage Tanks [Text]. In: *Thin-Walled Structures*. 2016. Vol. 99. P. 91–96. (in English)
26. Uematsu, Y.; Yasunaga, J.; Koo, C. Wind Loads on Open-topped Oil-storage Tanks in Various Arrangements [Text]. In: *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2015. Vol. 138(3). P. 77–86. (in English)

18. Uematsu, Y. Wind Loads on Open-topped Oil-storage Tanks in Various Arrangements [Текст] / Y. Uematsu, J. Yasunaga, C. Koo // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2015. Vol. 138(3). P. 77–86.

**Роменский Игорь Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: расчет и проектирование пространственных металлических конструкций.

**Миронов Андрей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: усталостная прочность металлических конструкций, концентрация напряжений в узлах ферм с применением широкополочных двутавров и гнутосварных замкнутых профилей, напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций, в том числе трубобетонных конструкций.

**Пилецкий Роман Викторович** – ведущий специалист отдела организации оперативного планирования по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций Департамента гражданской обороны и защиты населения Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики. Научные интересы: защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, повышение безопасности зданий и сооружений при возникновении чрезвычайных ситуаций.

**Роменський Ігор Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій та споруд ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розрахунок і проектування просторових металевих конструкцій.

**Миронов Андрій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій та споруд ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: втомна міцність металевих конструкцій, концентрація напружень в вузлах ферм із застосуванням широкополочкових двотаврів та гнutoзварних замкнених профілів, напружено-деформований стан сталезалізобетонних конструкцій, у тому числі трубобетонних конструкцій.

**Пілецький Роман Вікторович** – провідний спеціаліст відділу організації оперативного планування щодо захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій Департаменту цивільної оборони та захисту населення Міністерства у справах цивільної оборони, надзвичайних ситуацій і ліквідації наслідків стихійних лих Донецької Народної Республіки. Наукові інтереси: захист населення і територій від надзвичайних ситуацій, підвищення безпеки будівель і споруд при виникненні надзвичайних ситуацій.

**Romenskii Igor** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: analyze and design of spatial metal structures.

**Mironov Andrey** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fatigue strength of metal structures, stress concentration in truss nodes using wide-field I-beams and bent-welded closed profiles, stress-strain state of steel-reinforced concrete structures, including pipe-concrete structures.

**Piletskiy Roman** – Chief expert, Department of Operational Planning for the Protection of Population and Territories from Emergencies of the Department of Civil Defense and Population Protection of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters of the Donetsk People's Republic. Scientific interests: protection of the population and territories from emergency situations, improving the safety of buildings and structures in case of emergencies.