

УДК 699.814

**В. В. Габова, В. Г. Поляков, В. П. Саенкова, И. А. Засадченко**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА АВТОМОБИЛЬНОЙ ЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ**

Рассматриваются защитные конструкции автомобильных заправочных станций, обеспечивающие преграждающую способность для ограничения распространения пожара. Перечислены виды противопожарных преград. Рассмотрена огнестойкость бетона и стали.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, монолитные стены, виды противопожарных преград, классификации противопожарных стен, огнестойкость железобетонных конструкций, монолитный железобетон, защитные конструкции, пожарная опасность.

Тема исследования и повышения эффективности защитных строительных конструкций на автомобильных заправочных станциях (АЗС) является важной и актуальной, поскольку на этих производственных объектах существует большое количество факторов, приводящих к аварийным ситуациям и материальному ущербу.

АЗС играют важную роль в обеспечении автотранспорта топливом. Они представляют собой сложные инженерные сооружения, оснащенные автоматизированными системами обеспечения технологического процесса, хранения топлива, а также системами пожаротушения и эвакуации людей [1, 2].

В настоящее время много внимания уделяется замене жидкого моторного топлива (бензин и дизельное топливо) на альтернативные виды, такие как сжиженный природный и сжиженный углеводородный газы. Это связано с экономическими и экологическими проблемами, возникающими из-за увеличения числа машин.

Более того, как показала практика, АЗС, работающие на жидком топливе, по-прежнему представляют повышенную опасность возникновения пожаров и взрывов. Это связано с большими объемами хранения взрывопожароопасного автомобильного топлива, а также особенностями технологических процессов приема, хранения и выдачи. Множество АЗС расположено в городах и других населенных пунктах, поэтому возможные аварии являются серьезной угрозой для населения и окружающих объектов. Вместе с тем окружающие объекты могут оказывать недопустимое воздействие на АЗС, что может привести к возникновению пожаров и взрывов [3].

Пожарная опасность указанных объектов определяется большим количеством оборудования под давлением, в котором обращаются горючие газы и жидкости [4].

Согласно п. 4.7 СНБ 2.02.01—98<sup>1</sup> устанавливаются следующие виды противопожарных преград:

---

<sup>1</sup> СНБ 2.02.01-98. Пожарно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов. URL: <https://stroystandart.info/index.php?name=files&op=view&id=2921>.

- противопожарные стены;
- противопожарные перегородки;
- противопожарные перекрытия;
- противопожарные пояса (табл. 1).

Таблица 1

Типы противопожарных преград

Наименование противопожарных преград	Тип противопожарных преград	Предел огнестойкости противопожарных преград	Тип заполнения проемов в противопожарных преградах	Тип тамбуршлюза
Стены	1	REI 150	—	1
	2	REI 45	2	2
Перегородки	1	EI 45	2	1
	2	EI 15	3	2
Перекрытия	1	REI 150	—	1
	2	REI 60	2	1
	3	REI 45	2	1
	4	REI 15	3	2

Противопожарная стена — стена, имеющая специальные конструктивные решения, обеспечивающие преграждающую способность для ограничения распространения пожара<sup>2</sup> [5, 6]. Классификация противопожарных стен:

1. По типам:

- 1-го типа с пределом огнестойкости не менее REI 150;
- 2-го типа с пределом огнестойкости не менее REI 45.

2. По размещению в зданиях:

- внутренние;
- наружные.

*Внутренние* противопожарные стены предназначаются для предотвращения распространения пожара из одного пожарного отсека в другой внутри здания, а *наружные* — между зданиями. Наружные противопожарные стены, как правило, применяют в тех случаях, когда расстояние между зданиями или сооружениями не соответствует требованиям пожарной безопасности.

В условиях пожара предел огнестойкости железобетонных конструкций наступает обычно за счет снижения прочности бетона при нагреве, теплового расширения и температурной ползучести арматуры, возникновения сквозных отверстий или трещин в сечениях конструкций, а также в результате утраты теплоизолирующей способности [7, 8].

В результате сочетания высокой прочности, функциональности, долговечности и низких затрат на техническое обслуживание бетон является наиболее распространенным строительным материалом. Для взрывоустойчивых конструкций наилучший выбор — железобетон, который также широко используется в строительстве.

Качественный и хорошо армированный сталью бетон, особенно с достаточной массой, лучше других материалов предотвращает перфорацию и катастрофическое разрушение конструкции при воздействии взрывной нагрузки.

<sup>2</sup> НПБ 111—98\*. Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000020>.

В основе определения огнестойкости железобетонных конструкций лежат параметры:

- тип арматуры;
- диапазон эксплуатационных нагрузок;
- геометрические показатели конструкции;
- использование и толщина защитных слоев;
- категория влажности бетона.

На устойчивость конструкций влияют состав материала, размеры сечения и содержание арматуры. Как правило, чем больше толщина преграды, тем выше предел огнестойкости. На рисунке 1 показана зависимость огнестойкости материала от толщины конструкции и длительности пожара.

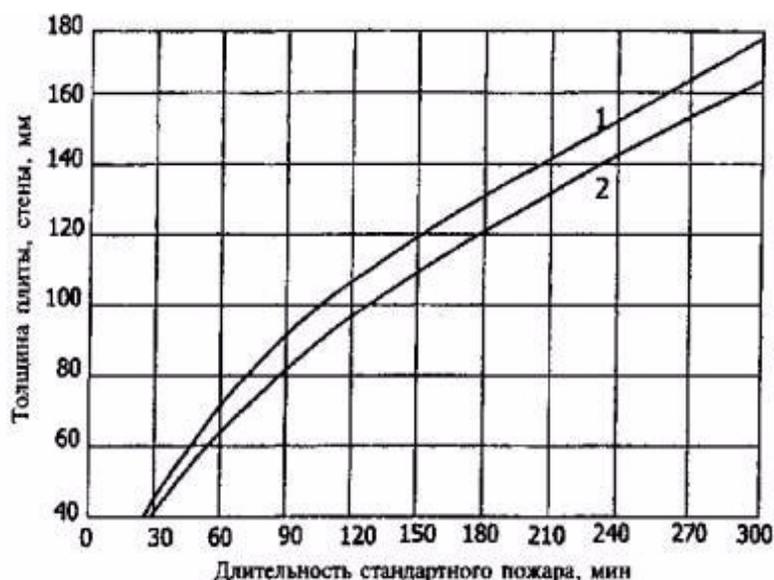


Рис. 1. Огнестойкость бетона

Минимальные требования к огнестойкости применимы к изгибаемым железобетонным элементам, покрытым тонким слоем бетона. Арматура становится подвержена тепловой деформации и последующему разрушению при воздействии высоких температур и открытого пламени.

Для идентификации предела огнестойкости строительных конструкций используется табл. 2 фактических показателей.

Критические показатели незащищенных стальных конструкций находятся в диапазоне R10...R15, а алюминиевых — R6...R8. Предел для колонн массивного сплошного сечения — R45. Незащищенные металлические конструкции допустимо применять при показателях R15 (RE15, REI15).

У незащищенного металла из-за высокой теплопроводности и низкой теплоемкости внутренняя температура быстро достигает критических значений, что влечет за собой уменьшение общей прочности и устойчивости к нагрузкам (рис. 2).

Показатели критической температуры прогрева металлических конструкций при нормативной эксплуатационной нагрузке приведены в табл. 3.

При необходимости поднять предел огнестойкости свыше R15 используют облицовку металла несгораемыми материалами, а также нанесение защитных покрытий [9].

Таблица 2

*Огнестойкость строительных конструкций*

Вид бетона	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Приведенная толщина плиты $h_{ред}$ , мм, обеспечивающая по теплоизолирующей способности предел огнестойкости, мин							
		15	30	45	60	90	120	150	180
Тяжелый бетон с крупным заполнителем из силикатных пород	2350	30	50	65	80	100	120	140	155
Мелкозернистый песчаный бетон	1900								
Тяжелый бетон с крупным заполнителем из карбонатных пород	2350	30	50	65	80	100	120	135	150
Легкий бетон с крупным заполнителем из керамзита	1600	25	40	53	65	80	95	105	115

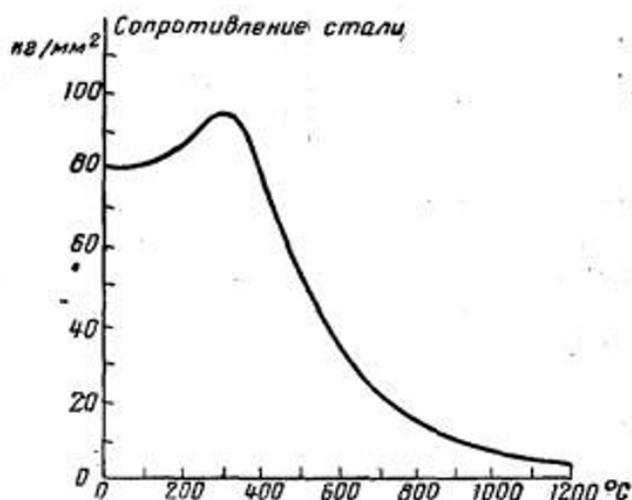


Рис. 2. Влияние температуры на механическую прочность стали

Таблица 3

*Показатели критической температуры прогрева металла*

Материал	Температура, °C
Углеродистая сталь Ст3-5	470
Низколегированная сталь 25Г2С	550
Низколегированная сталь 30ХГ2С	500
Сплав на основе алюминия АМг-6	225
Сплав на основе алюминия АВ-Т1Д1Т	250
Сплав на основе алюминия Д16ТВ922Т	165

В настоящее время монолитные железобетонные стены пользуются большим спросом и широко применяются при возведении различных зданий, как жилых, так и промышленных. Это связано с тем, что такой тип конструкции обеспечивает высокие показатели прочности, надежности и долговечности при относительно быстрой сборке и невысокой общей стоимости. Заливка монолитных железобетонных стен выполняется на месте строительства.

Стены из монолитного железобетона формируются в опалубке, которая может быть как съёмной, так и несъёмной. В процессе формовки стен в опалубке проводится армирование для повышения прочности конструкции, затем опалубка заполняется бетоном. Процесс выполняется поэтапно, обеспечивая непрерывность бетонирования и исключая возникновение швов.

Для ограждения АЗС, работающих со сжиженным газом, предусматриваются защитные экраны с целью сокращения расстояний и предотвращения выброса струи природного газа и разлета осколков при аварийной разгерметизации оборудования и его физическом разрушении в сторону защищаемого объекта в горизонтальном направлении.

Экран изготавливается из железобетона толщиной не менее 150 мм. Несущие конструкции экрана имеют предел огнестойкости не менее R45. Габариты экрана превышают габариты здания, сооружения и оборудования с КПП и/или СПГ (для которого этот экран предусматривается) не менее чем на 0,5 м во все стороны. При этом ширина защитного экрана, предусматриваемого для заправочного островка, превышает не менее чем на 0,5 м в обе стороны длину заправочного островка, а высота — не менее чем на 0,5 м высоту управляемых транспортных средств, предусматриваемых проектом АЗС.

Рассмотрим железобетонный защитный экран, находящийся на АГНКС Санкт-Петербурга. Участок работ расположен в Выборгском районе Санкт-Петербурга и входит в зону земель населенных пунктов. Земельный участок расположен в промышленной зоне, вдоль 3-го Верхнего переуллка. В соответствии с СП 131.13330.2020 рассматриваемая территория относится ко ПВ подрайону по климатическому районированию для строительства<sup>3</sup>. Санкт-Петербург, 3й Верхний пер. согласно Приложению И СП 11-105-97, часть III относится к участку I-A-1 (постоянно подтопленные в естественных условиях)<sup>4</sup>. Подтопление территории обусловлено относительно высоким положением уровня грунтовых вод. Сейсмичность района работ 5 баллов в соответствии со СП 14.13330.2018 и картами А, В, С ОСП-2016<sup>5</sup>.

Железобетонный защитный экран устанавливается из-за несоблюдения расстояния между газозаправочной колонкой и дизель-генератором. Нормируемое расстояние согласно табл. 6 СП 156.13130.2014 должно составлять не менее 35 м, фактическое расстояние на объекте — 14,4 м<sup>6</sup>. Высота сооружения — 1,7 м, ширина — 3,15 м. Заглубление фундамента осуществляется на глубину промерзания — 1,3 м.

<sup>3</sup> СП 131.13330.2020. Строительная климатология. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358>.

<sup>4</sup> СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000255>.

<sup>5</sup> СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571>.

<sup>6</sup> СП 156.13130.2014. Станции автомобильные заправочные. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110842>.

Выполним сбор нагрузок [10]. Ветровая нагрузка рассчитана согласно СП 20.13330.2016<sup>7</sup>.

Эквивалентная высота  $ZE$  согласно п. 11.1.5 указанных СП для сооружений башенного типа —  $Z$ .

Тип местности в соответствии с п. 11.1.6 — А — открытые побережья морей, озер и водохранилищ, сельские местности, в т. ч. с постройками высотой менее 10 м, пустыни, степи, лесостепи, тундра.

Аэродинамические параметры в соответствии с п. 11.1.6 и табл. 11.3 для местности типа А:

$$\alpha = 0,15; k_{10} = 1,0; \zeta_{10} = 0,76.$$

Коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты  $H = 1,7$  м в соответствии с п. 11.1.6 и формулой 11.4:

$$K(Z) = 0,75.$$

Коэффициент пульсации давления ветра для высоты  $H = 1,7$  м в соответствии с п. 11.1.8 и формулой 1.6:

$$\zeta(Z) = 0,85.$$

Коэффициент пространственной корреляции пульсации давления  $\nu$  в соответствии с п. 11.1.11:

$$\nu = 0,913.$$

Аэродинамический коэффициент лобового сопротивления  $C_X$  в соответствии с п. В.1.1 определяется по приложению В.

Аэродинамический коэффициент для участка А — 2,1.

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки  $W_M$  в соответствии с п. 11.1.3 для принятых параметров:

$$W_M = W_0 C_X K(Z) = 0,3 \text{ кПа} \cdot 2,1 \cdot 0,75 = 0,473 \text{ кПа}.$$

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки  $W_G$  в соответствии с п. 11.1.8 для принятых параметров:

$$W_G = W_M \nu \zeta(Z) \xi = 0,473 \text{ кПа} \cdot 0,913 \cdot 0,85 \cdot 1,4 = 0,514 \text{ кПа}.$$

Нормативное значение ветровой нагрузки в соответствии с п. 11.1.2:

$$W_N = W_M + W_G = 0,473 \text{ кПа} + 0,514 \text{ кПа} = 0,987 \text{ тс/м}^2.$$

Расчетное значение ветровой нагрузки в соответствии с п. 11 принято с коэффициентом надежности по нагрузке 1,4:

$$W_D = W_N \gamma_F = 0,987 \text{ тс/м}^2 \cdot 1,4 = 1,382 \text{ кПа}.$$

*Определение опорных усилий конструкции (на 1 п. м) в плоскости действия максимального момента.*

Расчетный момент от ветровой нагрузки:

$$M_1 = \frac{qL^2}{2} = \frac{(W_D B)L^2}{2} = \frac{(1,382 \text{ кПа} \cdot 1 \text{ м}) \cdot 1,7^2 \text{ м}^2}{2} = 31,862 \text{ кНм}.$$

<sup>7</sup> СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318>.

Момент от взрывной волны:

$$M_2 = 7,225 \text{ кНм};$$

общий

$$M_{\text{оп}} = 31,862 \text{ кНм} + 7,225 \text{ кНм} = 39,087 \text{ кНм}.$$

По таблице 2 серии 3.002.1-2, исходя из параметров изгибающего момента, получим марку защитного экрана — ПСМ 30.18-1, где тип стены — 1,  $H = 3000 \text{ мм}$ ,  $B = 1800 \text{ мм}$ ,  $h = 300 \text{ мм}$  (рис. 3).

В дальнейшем по таблице на листе 22 подбираем армирования для марки стены ПСМ 30.18-1. Железобетонная конструкция армируется пространственными сварными каркасами «КП», собираемыми из плоских арматурных сеток. Вся арматура принята класса А400 по ГОСТ 34028—2016<sup>8</sup>.

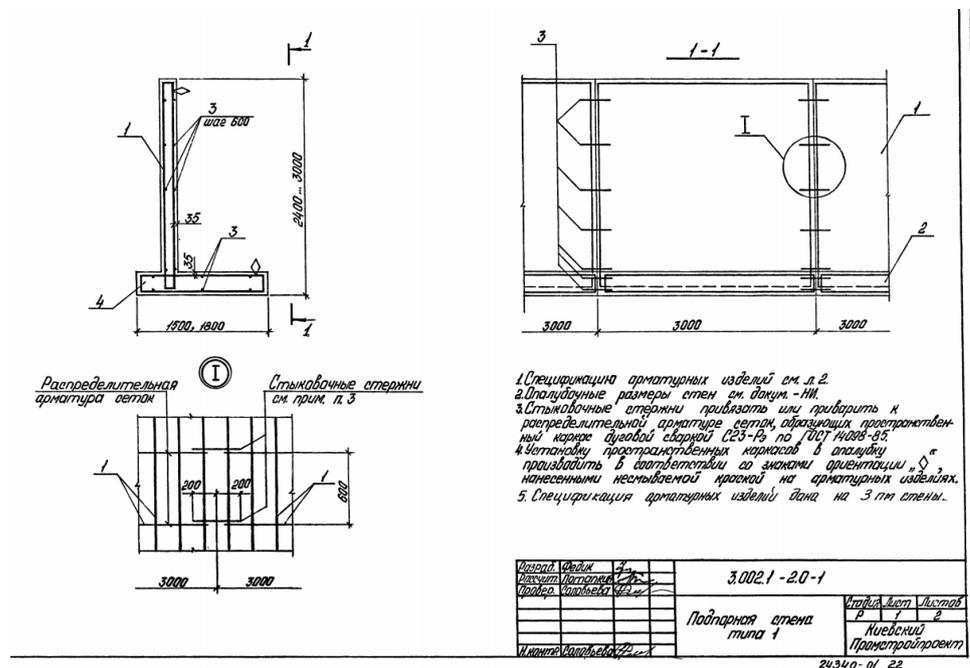


Рис. 3. Тип 1 железобетонной стены

Возможные способы повышения пределов огнестойкости железобетонных строительных конструкций представлены и классифицированы на рис. 4.

Один из эффективных методов увеличения огнестойкости железобетонных конструкций — защита бетона от разрушения в результате взрыва [11, 12]. Например, путем нанесения огнезащитной штукатурки можно достичь необходимого уровня огнестойкости в интервале от 0,75 до 2,5 ч. Напыляемые огнезащитные материалы на минеральной основе с использованием неорганического вяжущего благодаря своей высокой адгезии к поверхностям чаще всего применяются в форме цементно-перлитовых, цементно-

<sup>8</sup> ГОСТ 34028—2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200144936>.

вермикулитовых, гипсоперлитовых или гипсовермикулитовых составов. В состав таких штукатурок могут входить вяжущие, пористые заполнители, волокнистые материалы, пластификаторы и др. Их эффективность повышается при снижении плотности материала, а нанесение производится полусухим торкретированием практически любой толщины при толщине одного слоя не более 15 мм.



Рис. 4. Способы повышения пределов огнестойкости железобетонных конструкций

Огнестойкость представляет собой международную пожарно-техническую характеристику, которая регламентируется строительными нормами и правилами и отражает способность конструкций выдерживать воздействие пожара. Обеспечение огнестойкости строительных конструкций и зданий в целом является основой системы противопожарной защиты зданий. Огнестойкость является ключевым элементом всей системы противопожарной защиты зданий, поскольку она определяет выбор других элементов защиты<sup>9</sup>[7].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буголовский Н. Р. Проектирование сети АЗС // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2015. № 3.
2. Мацкин Л. А., Меликов С. Г., Пичугин А. П., Ратмиров К. В. Автозаправочные станции Японии. М. : Недра, 1974. 93 с.
3. Анализ индивидуального риска пожаров и взрывов для автозаправочной станции с подземным резервуаром / Ю. Н. Шебеко, Д. М. Гордиенко, В. Л. Малкин, И. М. Смолин, В. А. Колосов, Е. В. Смирнов // Пожаровзрывобезопасность. 1999. Т. 8. № 3.
4. Обеспечение пожаровзрывобезопасности многотопливных автозаправочных станций / И. А. Болодьян, Ю. Н. Шебеко, В. Л. Малкин, Д. М. Гордиенко, И. М. Смолин, В. А. Колосов, Е. В. Смирнов // Автозаправочный комплекс. 2001. № 2. С. 42—47.
5. Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Фролов А. Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М. : Спецтехника, 2001. 496 с.
6. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для слушателей и курсантов пожарно-технических образовательных учреждений МЧС России / В. Н. Демехин,

<sup>9</sup> РД 153-39.2-080-01. Правила технической эксплуатации автозаправочных станций. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200026364>.

И. Л. Мосалков, Г. Ф. Плюснина, Б. Б. Серков, А. Ю. Фролов, Е. Т. Шурин. М. : Академия ГПС МЧС России, 2003. 656 с.

7. *Ильин Н. А.* Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции. М. : Стройиздат, 1979. 128 с.

8. *Еналеев Р. Ш., Анаников С. В., Теляков Э. Ш., Гасилов В. С.* Огнестойкость бетона: критерии разрушения // *Фундаментальные исследования*. 2013. Т. 1. № 1. С. 139—142.

9. *Загоруйко М. В.* Разработка методов придания огнезащитных свойств и исследования термического воздействия на структуру и свойства материалов и пакетов одежды: дисс... канд. техн. наук. М., 2011. 209 с.

10. *Габова В. В., Родионов А. В., Сиротенко О. О.* Исследование поведения конструкций высотных зданий при воздействии ветровых нагрузок // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. 2023. Серия: Строительство и архитектура. Вып. 5(93) С. 5—17.

11. *Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в 2 кн. / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук, А. М. Александрова, Э. Н. Алехина.* М. : Химия, 1990. 496 с.

12. *Фомин В. И., Думилин А. И.* Автономные установки пожаротушения: основные показатели // *Противопожарные и аварийноспасательные средства*. 2005. № 3.

© *Габова В. В., Поляков В. Г., Савенкова В. П., Засадченко И. А., 2024*

*Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Габова В. В., Поляков В. Г., Савенкова В. П., Засадченко И. А.* Исследование и повышение эффективности защитных строительных конструкций на автомобильной заправочной станции // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 14—23. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_14.

*Об авторах:*

**Габова Виктория Викторовна** — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; gabovavv@yandex.ru

**Поляков Владимир Геннадиевич** — д-р экон. наук, проф., зав. каф. городского строительства, экономики и управления проектами, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; polyakovvg@vgasu.ru

**Савенкова Валерия Павловна** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; 79047798804@mail.ru

**Засадченко Иван Александрович** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ivan\_zasadchenko@bk.ru

***Viktoriya V. Gabova, Vladimir G. Polyakov, Valeria P. Savenkova,  
Ivan A. Zasadchenko***

***Volgograd State Technical University***

## **RESEARCH AND IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF PROTECTIVE BUILDING STRUCTURES AT A CAR FUELING STATION**

The article discusses the protective structures of gas stations that provide blocking capacity to limit the spread of fire. The types of fire barriers are listed. The fire resistance of concrete and steel is considered.

**Key words:** reinforced concrete structures, monolithic walls, types of fire barriers, classifications of fire walls, fire resistance of reinforced concrete structures, monolithic reinforced concrete, protective structures, fire hazard.

**For citation:**

Gabova V. V., Polyakov V. G., Savenkova V. P., Zasadchenko I. A. [Research and improvement of the efficiency of protective building structures at a car fueling station]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 2, pp. 14—23. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_14.

**About authors:**

**Viktoriya V. Gabova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gabovavv@yandex.ru

**Vladimir G. Polyakov** — Doctor of Economics, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; polyakovvg@vgasu.ru

**Valeria P. Savenkova** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; 79047798804@mail.ru

**Ivan A. Zasadchenko** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ivan\_zasadchenko@bk.ru