

6) применение градостроительных приёмов при строительстве новых и комплексной реконструкции промышленных районов города;

7) с помощью датчиков и устройств, которые являются частью интеллектуальной транспортной системы, оптимизация транспортных потоков на городских улицах. Повышения безопасности перевозо при использовании антикарманов, контроля скорости и соблюдения правил ПДД по камерам.

Организация исправно функционирующей «умной» системы общественного транспорта ос-

нована на комплексном внедрении как организационных методов, так и технических средств. Реализация сети метробуса, единого диспетчерского центра, развитие сети перехватывающих парковок, введение проездных карт, применение технических средств «Умного города» и т.д., снижающих величину транспортного потока, позволит модернизировать системы общественного транспорта городского округа г. Воронеж, предоставить жителям услугу, отвечающую современному запросу и показателям качества.

#### Список литературы

1. Фишельсон, М.С. Городские пути сообщения / М.С. Фишельсон // Высш. Школа. – 1980. – 2 е изд., перераб. и доп. – С. 296.
2. Овечников, Е.В. Городской транспорт / Е.В. Овечников // Высш. Школа. – 1976. – С. 352.
3. Томилин, А.И. Организация движения трамвая и троллейбуса / А.И. Томилин / Москва : Стройиздат. – 1969. – 1 отд. л. табл. : ил.; 21 см. – С.240.
4. Вучик, В.Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. / В.Р. Вучик // пер. с англ. Александра Калинина под науч. ред. Михаила Блинка. - Москва: Территория будущего. - 2011. - С. 574.
5. Семенов, М. В. Риски при реализации проектов беспилотного метрополитена / М. В. Семенов, О. А. Дяченко // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. – 2018. – № 8. – С. 113-115.
6. Семенов, В. Н. Оценка эффективности проектов городского пассажирского транспорта (на примере городского округа Воронеж) / В. Н. Семенов, М. В. Семенов // Недвижимость: экономика, управление. – 2017. – № 4. – С. 52-55.
7. Максимов А.Н. Городской электротранспорт/А.Н. Максимов // Москва : Academia, (ГУП Саратов. полигр. комб.). – ТРОЛЛЕЙБУС. – 2004. С. 249.
8. Ефимова, Е. Г. Концессии в транспортной инфраструктуре: зарубежный опыт и российская практика / Е.Г. Ефимова // Вестник СПбГУ. Сер. 5. Вып. 2. – 2007. – С. 10.
9. Данилина, Н.В. Научно-методические основы формирования системы "перехватывающих" стоянок в крупнейших городах: на примере города Москвы // Н.В. Данилина // дисс. ВАК РФ. – 2022. – С.10.
10. Овечников Е.В. Городской транспорт / Е.В. Овечников // Москва : Высш. школа. – 1976. – С. 351.
11. Калиновский, С.А. Роль мостов в повышении качества городской среды и создании архитектурного ансамбля города / С.А. Калиновский, А.В. Макаров, Д.А. Гурова, И.В. Шестопалов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. - 2022. - № 1 (39). - С. 90-94.
12. Долотказина, Н.С. Особенности реновации городских территорий с учетом существующих ограничений / Н.С. Долотказина, Ю.Г. Кожевникова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020.- № 2 (32). – С. 36-40.
13. Морозов, В.Д. Применение технологий умного города в транспортной сфере в городах (на примере Москвы) / В.Д. Морозов // Самоуправление. - 2021. - № 3 (125). -С. 447-449.
14. Исаев, А.А. Концепция "умный город": технологические решения и ресурсные возможности на примере города Перми / А.А. Исаев // Современный город: власть, управление, экономика. - 2020. - Т. 1. - С. 31-38.
15. Кутырин, Д.О. Технологии умного города в сфере создания комфортной городской среды и жкх: практики городов федерального значения / Д.О. Кутырин // Вестник РАЕН. - 2021. - Т. 21. № 3. - С. 83-85.

© А. В. Исанова, Г. Э. Гаджиев, М. А. Захаров, М. В. Семенов

#### Ссылка для цитирования:

Исанова А. В., Гаджиев Г. Э., Захаров М. А., Семенов М. В. Создание современной и безопасной системы пассажирских перевозок с использованием систем цифровизации и возможность её реализации на примере г. Воронежа // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. №3 (45). С. 73–80.

УДК 624.04; 69.07

DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-80-84

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ НАДЁЖНОСТИ СООРУЖЕНИЙ РАЗНЫХ ТИПОВ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ. ЧАСТЬ ВТОРАЯ

*С. С. Рекунов, А. А. Чураков*

**Рекунов Сергей Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительная механика», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (8442) 96-98-17; e-mail: rekunoff@mail.ru;

**Чураков Алексей Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции, надёжность и основания сооружений», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (8442) 96-99-90; e-mail: alexei.churakov@yandex.ru

Рассмотрены основные проблемы расчёта и проектирования конструкций зданий и сооружений на экстремальное воздействие в виде взрывов различного вида. На основании проведённого анализа нормативной документации установлены основные требования к обеспечению эксплуатационной надёжности конструкций зданий и сооружений при особых воздействиях. В первой части приведён анализ работы конструкций общественного здания при взрывном воздействии двух видов (попадание барражирующего снаряда в крайнюю колонну и локальный подрыв центральной колонны) с учётом дальнейшего прогрессирующего обрушения. Во второй части рассматривается анализ работы промышленного здания объекта хранения и переработки зерна при воздействии взрывов мучной пыли в зонах хранения продукта и производственном цехе. Расчётным путём обоснована необходимость выполнения дополнительных инженерных мероприятий по локализации разрушительного воздействия и недопущению развития внутренних усилий и деформаций в несущих элементах конструкций.

**Ключевые слова:** надёжность; взрывное воздействие; объекты хранения и переработки зерна; конструктивная схема; монолитный железобетонный каркас.

## RESEARCH OF THE STRUCTURAL RELIABILITY OF DIFFERENT TYPES UNDER EXTREME IMPACTS. PART TWO

*S. S. Rekunov, A. A. Churakov*

**Rekunov Sergey Sergeevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor the Department of Structural Mechanics, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (8442) 96-98-17, e-mail: rekunoff@mail.ru;

**Churakov Aleksey Aleksandrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor the Department of Building Structures, Foundations and Reliability of Structures, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (8442) 96-99-90, e-mail: alexei.churakov@yandex.ru

The main problems of calculation and design of building structures for extreme impact in the form of explosions of various types are considered. Based on the analysis of normative documentation, the main requirements for ensuring the operational reliability of building structures under special impacts are established. The Part One analyzes the operation of public building structures under two types of explosive impact (hit of a loitering projectile into the outermost column and local detonation of the central column), taking into account further progressive collapse. The Part Two deals with the analysis of the work of an industrial building of a grain storage and processing facility under the influence of explosions of flour dust in the product storage areas and the production workshop. Calculation substantiates the need to perform additional engineering measures to localize the destructive impact and prevent the development of internal forces and deformations in the load-bearing structural elements.

**Keywords:** reliability; explosive impact; grain storage and processing facilities; structural scheme; monolithic reinforced concrete frame.

Зерно имеет стратегическое значение для обеспечения экономической и продовольственной безопасности Российской Федерации, а переработка урожая зерновых культур является одним из важнейших факторов развития сельскохозяйственной отрасли. При этом производные данной продукции, к которым, в первую очередь, следует отнести пыль, оказывают существенные риски для зданий и сооружений, в которых осуществляется их хранение и переработка. В связи с этим, вопрос о надёжности эксплуатируемых и вновь возводимых зданий и сооружений объектов хранения и переработки зерна является актуальным.

Исследованию вопросов надёжности и безопасности строительных конструкций, в том числе объектов хранения и переработки зерна, а также анализу работы таких конструкций при возникновении чрезвычайной ситуации посвящены некоторые труды [1-8], проработана и нормативная база (ГОСТ 12.1.041-83 Пожаровзрывобезопасность горючих пылей, СП 108.13330.2012 «Предприятия, здания и сооружения по хранению и переработке зерна» и др.).

Целью большинства исследовательских работ в этом направлении является установление

расчётным путём зон максимального риска возникновения аварийных ситуаций при взрывном воздействии, а также совершенствование методов взрывопредупреждения и взрывозащиты зданий [9-14].

В данной части статьи, являющейся продолжением работы по исследованию вопросов надёжности сооружений разных типов при экстремальных воздействиях [15], выполняется анализ работы промышленного здания объекта хранения и переработки зерна каркасного типа, выполненного из монолитного железобетона, в результате взрывов мучной пыли в зонах хранения продукта и производственном цехе с целью выявления зон максимального риска возникновения аварийных ситуаций.

Кроме основных нормативных документов, регламентирующих требования к расчётам конструкций сооружения [16, 17], особое внимание следует обратить на регламенты промышленной безопасности, согласно которым основную опасность для подобных типов производств представляет возможность взрыва и последующих пожаров. Взрывобезопасность объекта должна обеспечиваться исключением возмож-

ности взрыва пылевоздушных смесей растительного происхождения и предупреждением образования очагов самосогревания или самовозгорания зерна, продуктов его переработки и комбикормового сырья, а в случае возникновения взрыва – предотвращением воздействия на людей опасных факторов взрыва и сохранением материальных ценностей.

Решение указанных задач обеспечивается реализацией мер взрывопреждения, взрывозащиты и организационно-техническими мероприятиями. Расчёт конструкций зданий хранения и переработки зерна должен выполняться с учётом всех возможных вариантов нагрузок и воздействий в наиболее неблагоприятных их сочетаниях. Запроектированные по результатам таких расчётов конструкций объектов хранения и переработки зерна при соблюдении обязательных мероприятий по их защите от различного рода воздействий, должны обеспечивать эксплуатационную надёжность самих объектов, защиту персонала и оборудования.

В качестве объекта исследования принято монолитное железобетонное здание производственного корпуса элеватора, прямоугольное в плане, семиэтажное, шириной 18,0 м и длиной 96,6 м, к которому вплотную примыкает складской корпус. Здание разделено деформационными швами на три температурных блока. На рис.1 представлена объёмная модель исследуемого здания в ПК «ЛИРА».

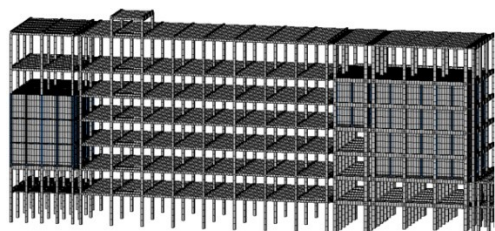


Рис. 1. 3D-схема исследуемого производственного корпуса

Для выполнения комплексного анализа напряжённо-деформированного состояния конструкций производственного корпуса был выполнен расчёт на различные сочетания эксплуатационных нагрузок, в том числе на взрывные воздействия, вызванные различными факторами. В данной работе приводится часть исследований с учётом локальных взрывов. На рисунке 2 условно показаны зоны потенциального возникновения взрывных воздействий.

С целью анализа работы конструкций здания от взрыва оборудования в производственном цехе выполнен численный расчёт здания с учётом динамического воздействия.

На рисунке 3 представлены объёмная модель (а), расчётная схема (б) и некоторые ре-

зультаты расчёта: мозаики распределения изгибающих моментов  $M_x$  (в) и  $M_y$  (г) в плите перекрытия первого этажа.

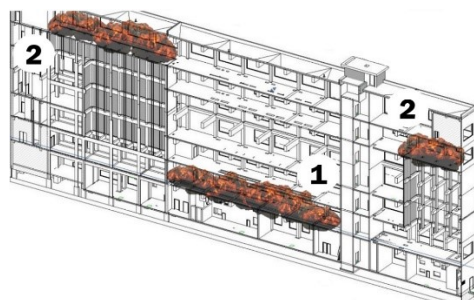
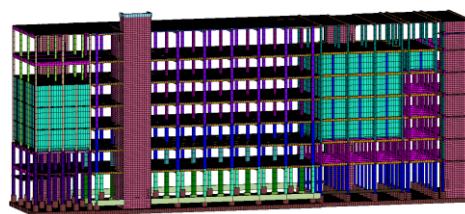


Рис. 2. Моделирование взрывного воздействия: 1 – взрыв оборудования в производственном цехе; 2 – взрыв в зонах хранения продукта

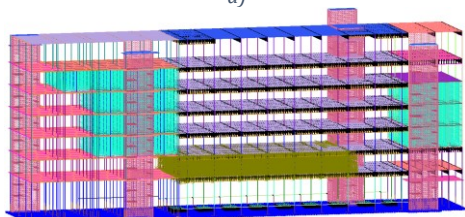
Аналогично выполнен расчёт здания от взрывов в зонах хранения продукта.

На рисунке 4 представлены расчётная схема (а) и некоторые результаты расчёта: мозаики перемещений вдоль вертикальной оси (б) и распределения изгибающих моментов и в плитах перекрытия пятого (в, г) и шестого (д, е) этажей.

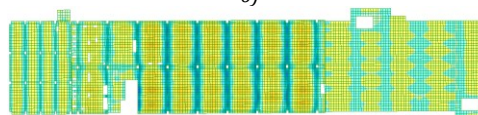
На основании выполненного исследования работы конструкции монолитного железобетонного здания исследованы механизмы распределения внутренних усилий и формирования зон локальных деформаций в результате взрывного воздействия в разных сочетаниях. На рисунке 5 показаны зоны максимального риска обрушения конструкций.



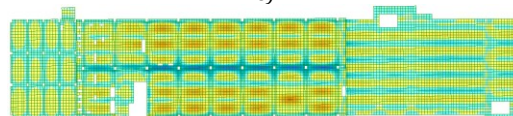
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Результаты расчёта здания производственного корпуса от взрыва оборудования в производственном цехе

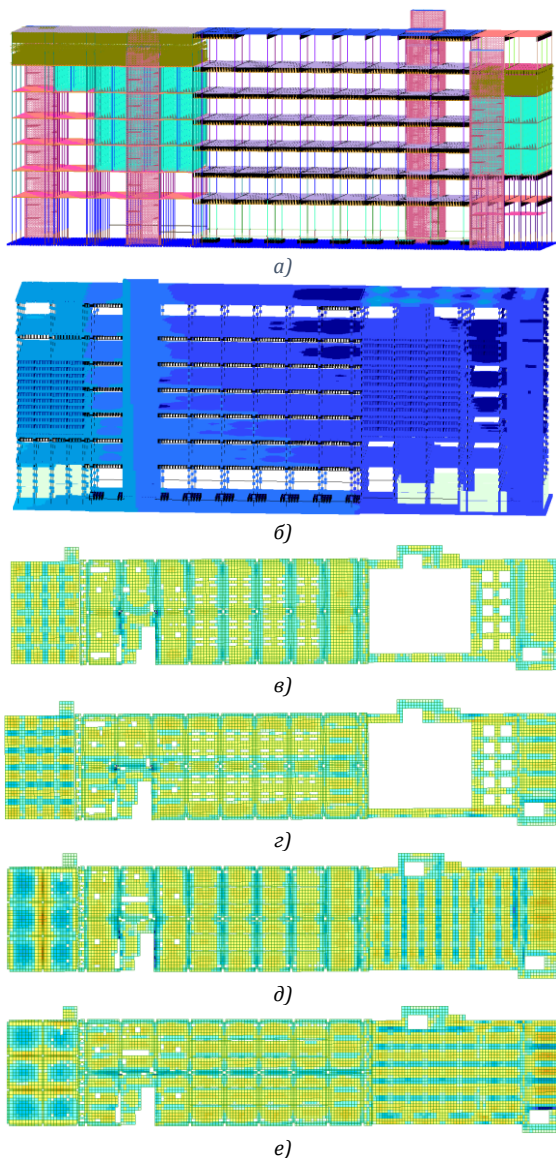


Рис. 4. Результаты расчёта здания производственного корпуса в зонах хранения продукта

Учитывая требования нормативной документации и особенности конструктивной схемы

здания, определены оптимальные материалы и стратегии проектирования, позволяющие уменьшить последствия взрыва, среди которых монтаж легкобрасываемых ограждающих конструкций, проработка и усиление узловых соединений, подбор специального армирования в несущих железобетонных конструкциях т. д.

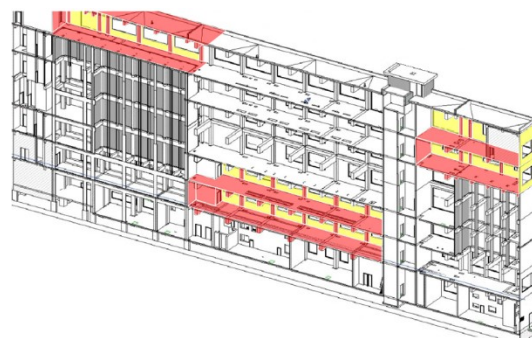


Рис. 5. Зоны максимального риска при возникновении взрывного воздействия

### Заключение

Проведенные исследования позволили выполнить комплексную оценку работу конструкций при экстремальных воздействиях на них в виде взрывов различного вида. Учёт таких факторов, как прогрессирующее обрушение, удар о несущие конструкции падающих тел, взрывы направленного действия и производственного характера, должен быть обязательным компонентом многоуровневого моделирование напряжённо-деформированного состояния пространственных систем, как при статических, так и при динамических воздействиях. Только в этом случае можно получить объективную прогнозную информацию об уровне эксплуатационной надёжности конструкций зданий и сооружений и на основании этой информации своевременно разработать и реализовать необходимые инженерные мероприятия по обеспечению безопасности ответственных объектов на всех стадиях их эксплуатации.

### Список литературы

1. Колчунов, В. И. Деформирование железобетонных каркасов многоэтажных зданий в запредельных состояниях при особых воздействиях / В. И. Колчунов, О. Б. Бушова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2022. – Т. 18, № 4. – С. 297-306.
2. Колчунов В.И. Некоторые проблемы живучести железобетонных конструктивных систем при аварийных воздействиях / В. И. Колчунов, Н. В. Федорова // Вестник НИЦ «Строительство». – 2018. – 1(16). – С. 115-119.
3. Fedorova N. V., Ngoc V. T. Deformation and failure of monolithic reinforced concrete frames under special actions // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1425. Article 012033.
4. Расторгуев Б.С. Обеспечение живучести зданий при особых динамических воздействиях // Сейсмостойкое Строительство. Безопасность Сооружений, 2003, №4, С.45 -48.
5. Бондаренко В.М. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов // Промышленное и гражданское строительство. — 2013. – №2. – С. 28-31.
6. Мкртычев О.В., Райзер В.Д. Теория надежности в проектировании строительных конструкций. М. : Издательство АСВ, 2016. 908 с.
7. Бирбраер А.Н., Роледер А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. — СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2009.
8. Расторгуев Б. С, Плотников А. И., Хуснутдинов Д. З. Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях. – М.: изд-во АСВ, 2007.



9. Миньков Н. А. Пожаровзрывобезопасность предприятий для хранения и переработки зерна. М.: Инновации. Наука. Образование, 2021
10. Количественный анализ риска при обосновании взрывоустойчивости зданий и сооружений / Д. В. Дегтярев, М. В. Лисанов, С. И. Сумской, А. А. Швыряев // Безопасность труда в промышленности. — 2013. . – №6. – С. 82-89.
11. Конструктивная пожарная инженерия в управлении стадией проектирования высотного здания с учетом требований безопасности / В. С. Федоров, Т. В. Золина, Н. В. Купчинова, А. С. Реснянская // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3(41). – С. 141-144.
12. Невская Е. Е., Глебова Е. В. Анализ способов и средств повышения уровня защиты зданий и сооружений от действия ударных волн // Безопасность труда в промышленности. — 2017. . – №2. – С. 73-78.
13. Мкртычев, О. В. Расчет конструкций железобетонного здания на взрывные нагрузки в нелинейной динамической постановке / О. В. Мкртычев, В. Б. Дорожинский, О. В. Лазарев // Вестник МГСУ. – 2011. – № 4. – С. 243.
14. Мкртычев, О. В. Методы моделирования фронта воздушной ударной волны для расчета промышленного сооружения / О. В. Мкртычев, А. Ю. Савенков // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, № 2. – С. 223-234.
15. Рекунов, С. С. Исследование вопросов надежности сооружений разных типов при экстремальных воздействиях. Часть первая / С. С. Рекунов, А. А. Чураков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 2(44).
16. Сазонова, С. А. Особенности работы конструкций здания по хранению и переработке зерна / С. А. Сазонова, С. С. Рекунов // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : Международной научно-практической конференции, Волгоград, 15–16 декабря 2022 года. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2022. – С. 51-57.
17. Анализ нормативных документов в сфере оценки технического состояния объектов строительства / В. В. Сергеев, К. А. Артемов, Д. В. Саранова, Е. Н. Карпушко // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : Международной научно-практической конференции, Волгоград, 15–16 декабря 2022 года. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2022. – С. 573-575.

© С. С. Рекунов, А. А. Чураков

**Ссылка для цитирования:**

Рекунов С. С., Чураков А. А. Исследование вопросов надёжности сооружений разных типов при экстремальных воздействиях. Часть вторая // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 3 (45). С. 80–84.