

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-7-19](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-7-19)
УДК 624.9; 699.8

EDN: XIGCFU

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ЗАЩИТЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭСТАКАД ОТ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

К.Г. АДУШКИН^{1,✉}

М.М. АЙЗАТУЛЛИН²

М.И. ВЕДЯКОВ^{3, 4}

Н.И. ФОМИН¹, канд. техн. наук

Л.С. САБИТОВ³, д-р техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ул. Мира, д. 19, г. Екатеринбург, 620002, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», ул. Красносельская, д. 51, г. Казань, 420066, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

⁴ Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко, АО «НИЦ «Строительство», ул. 2-я Институтская, д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Отмечается уязвимость промышленных объектов, в том числе рассматриваемых в статье технологических эстакад, для участвовавших террористических атак с помощью БПЛА и других негативных факторов, которые способны привести к аварийной ситуации и последующему прогрессирующему обрушению.

Цель. Разработка конструктивных решений по защите от прогрессирующего обрушения при аварийной расчетной ситуации с обеспечением геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при удалении анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

Материалы и методы. Выполнен обзор существующей актуальной нормативной литературы по теме исследования. Используя опыт обследования, подвергнуты критическому анализу конструктивные решения существующих недавно возведенных технологических эстакад.

Результаты. Выполнив анализ нормативных документов по теме исследования, делается вывод, что отсутствие подробных рекомендаций и методик расчета на устойчивость против прогрессирующего обрушения по отношению к технологическим эстакадам в целом снижает надежность вновь возводимых и существующих реконструируемых объектов. По результатам критического анализа часто встречаемой компоновки температурного блока технологической эстакады повышенного уровня ответственности с устройством одной анкерной опоры с множеством промежуточных двухшарнирных опор, которые соединены друг с другом разрезными пролетными строениями или распорками, отмечается недостаток данной компоновки в виде невозможности обеспечения геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при аварийной расчетной ситуации с удалением анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

Выводы. Разработаны конструктивные решения по защите от прогрессирующего обрушения при аварийной расчетной ситуации с обеспечением геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных

двухшарнирных опор температурного блока при удалении анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении). На разработанные технические решения оформлены заявки на выдачу патентов на изобретения.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, технологическая эстакада, большетемпературный блок, анкерная опора, промежуточная двухшарнирная опора, пролетное строение, горизонтальная распорка

Для цитирования: Адушкин К.Г., Айзатуллин М.М., Ведяков М.И., Фомин Н.И., Сабитов Л.С. Разработка конструктивных решений по защите технологических эстакад от прогрессирующего обрушения. *Вестник НИЦ Строительство*. 2025;45(2):7–19. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-7-19](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-7-19)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.04.2025

Поступила после рецензирования 30.05.2025

Принята к публикации 05.06.2025

DEVELOPMENT OF DESIGN SOLUTIONS FOR PROTECTION AGAINST PROGRESSIVE COLLAPSE OF PROCESS PIPE RACKS

K.G. ADUSHKIN^{1,✉}

M.M. AIZATULLIN²

M.I. VEDYAKOV^{3, 4}

N.I. FOMIN¹, Cand. Sci. (Engineering)

L.S. SABITOV³, Dr. Sci. (Engineering)

¹ Ural Federal University, Mira str., 19, Yekaterinburg, 620002, Russian Federation

² Kazan State Power Engineering University, Krasnoselskaya str., 51, Kazan, 420066, Russian Federation

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

⁴ Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. The paper highlights vulnerability of industrial facilities, such as process pipe racks, to increasing frequency of UAV terrorist attacks and other negative factors that can lead to an emergency situation and subsequent progressive collapse.

Aim. To develop design solutions for protection against progressive collapse in a design emergency situation with ensured geometric immutability and stability of intermediate double-hinged supports of a temperature block in the case of excluding an anchor support from the design scheme (local destruction).

Materials and methods. A review of relevant normative documents on the research topic was carried out. The survey experience was used to analyze the design solutions of recently constructed process pipe racks.

Results. Having analyzed the regulatory documents on the research topic, we assume that the lack of detailed recommendations and calculation methods for stability against progressive collapse of process pipe racks generally reduces the reliability of newly constructed and existing reconstructed facilities. A frequently encountered combination of a temperature block in a highly critical process pipe rack with one anchor support and multiple intermediate double-hinged supports interconnected by split span structures or struts appears disadvantageous in terms of failure to ensure the geometric immutability and stability of the intermediate double-hinged supports of the temperature block in a design emergency situation with the anchor support excluded from the design scheme (local destruction).

Conclusions. The developed design solutions ensure protection against progressive collapse in a design emergency situation and maintain geometric immutability and stability of intermediate double-hinged supports of a temperature block in the case of excluding an anchor support from the design scheme (local destruction). Applications for utility patents on the developed engineering solutions have been filed.

Keywords: progressive collapse, process pipe rack, high-temperature block, anchor support, intermediate double-hinged support, span structure, horizontal strut

For citation: Adushkin K.G., Aizatullin M.M., Vedyakov M.I., Fomin N.I., Sabitov L.S. Development of design solutions for protection against progressive collapse of process pipe racks. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):7–19. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-7-19](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-7-19)

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.04.2025

Revised 30.05.2025

Accepted 05.06.2025

Введение

Российская Федерация традиционно находится в числе лидеров стран по объему промышленного производства. На территории страны располагается большое количество промышленных предприятий различного назначения. Каждое производство включает в себя многочисленные здания и сооружения, которые связаны друг с другом системой коммуникаций, инженерные сети часто прокладывают открытым способом по конструкциям технологических эстакад.

Последние годы участились случаи совершения террористических актов в отношении промышленных предприятий, атаке подвергаются в том числе технологические эстакады [1]. Кроме террористических атак эстакады подвержены и прочему негативному влиянию: случайные наезды на опоры автотранспортных средств, просадки или выпучивание фундаментов опор, уменьшение поперечного сечения элементов в результате коррозии, ошибки при проектировании и т. п. – все перечисленные факторы способны вызвать аварийную ситуацию с локальным разрушением отдельных элементов, что может привести к прогрессирующему обрушению линейного сооружения со всеми вытекающими последствиями [2].

Отвечая современным вызовам, актуальные нормы требуют обеспечения защиты от прогрессирующего обрушения для зданий и сооружений повышенного уровня ответственности, а также для отдельных объектов нормального уровня ответственности. Используя опыт обследования и рассматривая технологические эстакады объектов энергетики, которые часто имеют повышенный уровень ответственности, стоит отметить, что зачастую данные эстакады проектируются не в полной мере способными противостоять прогрессирующему обрушению. Многие проектные организации подходят формально к данным требованиям без должной проработки всех возможных сценариев исключения из расчетной схемы несущих элементов эстакады. Отчасти данная ситуация возникает из-за отсутствия в нормативных документах детальных рекомендаций и методик расчета эстакад на устойчивость против прогрессирующего обрушения [3, 4]. Отметим, что подобная ситуация прослеживается по отношению и к другим линейным сооружениям, например к опорам ВЛ [5].

В рамках статьи рассмотрены вопросы повышения надежности строительных конструкций технологических эстакад, выражающейся в способности противостоять прогрессирующему обрушению. Анализируя конструктивные решения недавно возведенных эстакад повышенного уровня ответственности, стоит обратить внимание, что часто встречаемая компоновка температурного блока эстакады включает одну анкерную опору и ряд промежуточных двухшарнирных опор, которые соединены друг с другом разрезными пролетными строениями или распорками. Недостаток вышеописанной компоновки заключается в невозможности обеспечения геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при удалении анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

Цель исследования – разработка конструктивных решений по защите от прогрессирующего обрушения при аварийной расчетной ситуации с обеспечением геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при удалении анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

Материалы и методы

Для достижения поставленной задачи был выполнен обзор и анализ существующей актуальной нормативно-технической литературы в области защиты от прогрессирующего обрушения, особое внимание уделялось поиску пособий, рекомендаций и методик расчета по защите от прогрессирующего обрушения по отношению к рассматриваемым в данной статье линейным сооружениям – технологическим эстакадам.

Для разработки конструктивных решений использовался опыт обследования технологических эстакад промышленных предприятий, в том числе эстакад повышенного уровня ответственности. В рамках проводимого исследования, в процессе обследования в первую очередь критическому анализу подвергались конструктивные решения эстакад, разработанные различными проектными институтами и проектными организациями, аналитическим и расчетным способами выполнялась оценка способности конструкций противостоять прогрессирующему обрушению. На объектах после аварийных ситуаций осуществлялся поиск дефектов и повреждений строительных конструкций и выполнялась соответствующая оценка их влияния на несущую способность как отдельных элементов, так и сооружения в целом (рис. 1).



Рис. 1. Многочисленные деформации элементов технологической эстакады, полученные в результате аварийной ситуации на производстве (фото из личного архива авторов)

Fig. 1. Numerous deformations of process pipe rack elements due to an emergency situation at a production facility (photo from the personal archive of the authors)

На завершающем этапе при разработке конструктивных решений сопутствующие расчеты, оценка устойчивости, геометрической неизменяемости и прочие численные эксперименты выполнялись в программном комплексе ЛИРА. С целью подтверждения научной новизны и закрепления авторских прав на все разработанные решения были оформлены заявки на выдачу патентов на изобретения, на момент написания статьи конструктивные решения проходят экспертизы в Роспатенте.

Результаты

Обзор литературы по теме исследования

Основными нормативными документами по проектированию технологических эстакад являются соответствующая глава из СП 43.13330.2012 [6] и «Пособие по проектированию отдельно стоящих опор и эстакад под технологические трубопроводы (к СНиП 2.09.03-85)» [7], которые во многом дублируют друг друга. Однако в данных документах отсутствуют

требования, рекомендации и методика расчета данных сооружений на устойчивость против прогрессирующего обрушения. Тем временем, как уже было упомянуто выше, актуальные нормы – в первую очередь это Федеральный закон № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [8], ГОСТ 27751-2014 [9], СП 385.1325800.2018 [10], СП 296.1325800.2017 [11] – требуют обеспечения защиты от прогрессирующего обрушения зданий и сооружений повышенного уровня ответственности, к которым часто относятся и рассматриваемые технологические эстакады.

Если рассмотреть СП 385.1325800.2018 [10] и СП 296.1325800.2017 [11], то можно заметить, что в документах изложены основные положения по рассматриваемой теме, но при этом документы не раскрывают детали и особенности, которые встречаются при проектировании эстакад. Кроме того, в СП 385.1325800.2018 [10] прямо указано, что область применения документа не распространяется на линейные объекты, к которым относятся рассматриваемые в данной статье технологические эстакады [12]. Если обратиться к другим существующим нормам, например к методическому пособию [13], то также можно обратить внимание, что в документе содержатся рекомендации, правила проектирования и методики расчетов в основном для зданий с массовым нахождением людей, а также для отдельных промышленных объектов без рассмотрения эстакад.

Таким образом, проектные организации при проектировании вынуждены пользоваться общими правилами и требованиями по защите от прогрессирующего обрушения, а также адаптировать их под специфику рассматриваемых линейных инженерных сооружений. И действительно, на отдельные вопросы, например связанные с назначением характеристик материалов, нагрузками при особом сочетании и общим подходом к проблеме, могут быть даны ответы в вышеописанных нормах, однако такие детали, как рекомендации по выбору мест назначения локальных разрушений (отказов), методика расчета и требования к расчетным моделям, выбор коэффициента динамичности при pulldown-анализе в квазистатической постановке, примеры расчетов, конструктивные мероприятия по защите от прогрессирующего обрушения эстакад и пр., могли бы быть освещены в виде отдельного пособия и рекомендаций или быть включены в новую редакцию существующего пособия [13]. Можно с уверенностью сказать, что разработка данных рекомендаций положительно скажется на общей надежности ответственных технологических эстакад.

Обзор существующих конструктивных решений

Рассмотрим часто встречаемую компоновку температурного блока технологической эстакады (рис. 2–4) [14]. По длине эстакады разбивают на температурные блоки. Согласно рекомендациям по проектированию, в каждом температурном блоке, как правило, устанавливают анкерную опору. При этом остальные опоры являются промежуточными, их часто выполняют шарнирно опертыми в продольном направлении, и работают они преимущественно на сжатие. Все опоры в рамках температурного блока соединяются в продольном направлении разрезными распорками или пролетными строениями. Таким образом, единственная анкерная опора совместно с распорками или пролетными строениями обеспечивает геометрическую неизменяемость и устойчивость промежуточных шарнирно опертых опор температурного блока. Распорки и пролетные строения также выполняют функцию передачи горизонтальных продольных нагрузок от трубопроводов на анкерную опору, таким образом

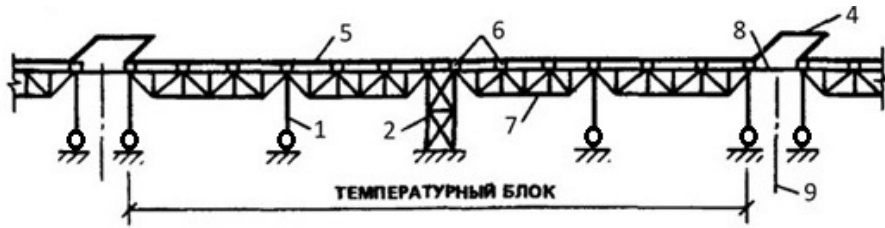


Рис. 2. Принципиальная схема устройства температурного блока технологической эстакады [7]: 1 – промежуточная опора; 2 – анкерная опора; 4 – компенсатор; 5 – трубопровод; 6 – траверса; 7 – пролетное строение; 8 – вставка температурного блока; 9 – ось температурного разрыва

Fig. 2. Schematic diagram of the temperature block in the process pipe rack [7]: 1 – intermediate support; 2 – anchor support; 4 – compensator; 5 – pipeline; 6 – crossbeam; 7 – span structure; 8 – temperature block insert; 9 – temperature break axis



Рис. 3. Часто встречаемая компоновка температурного блока технологической эстакады. Анкерная опора в середине температурного блока, промежуточные опоры выполнены с шарнирным опиранием на фундаменты, все опоры соединены распорками и пролетными строениями (фото из личного архива авторов)

Fig. 3. Frequently encountered layout of a temperature block for the process pipe rack: anchor support is in the middle of the temperature block; intermediate supports are hinge supported on foundations; all supports are connected by spacers and span structures (photo from the personal archive of the authors)

анкерная опора воспринимает все горизонтальные продольные нагрузки, действующие на температурный блок от трубопроводов.

Отметим, что описанная выше компоновка, как показывает опыт обследования, часто встречается и в технологических эстакадах повышенного уровня ответственности (рис. 3). Недостаток рассматриваемой компоновки заключается в невозможности обеспечения геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при удалении анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

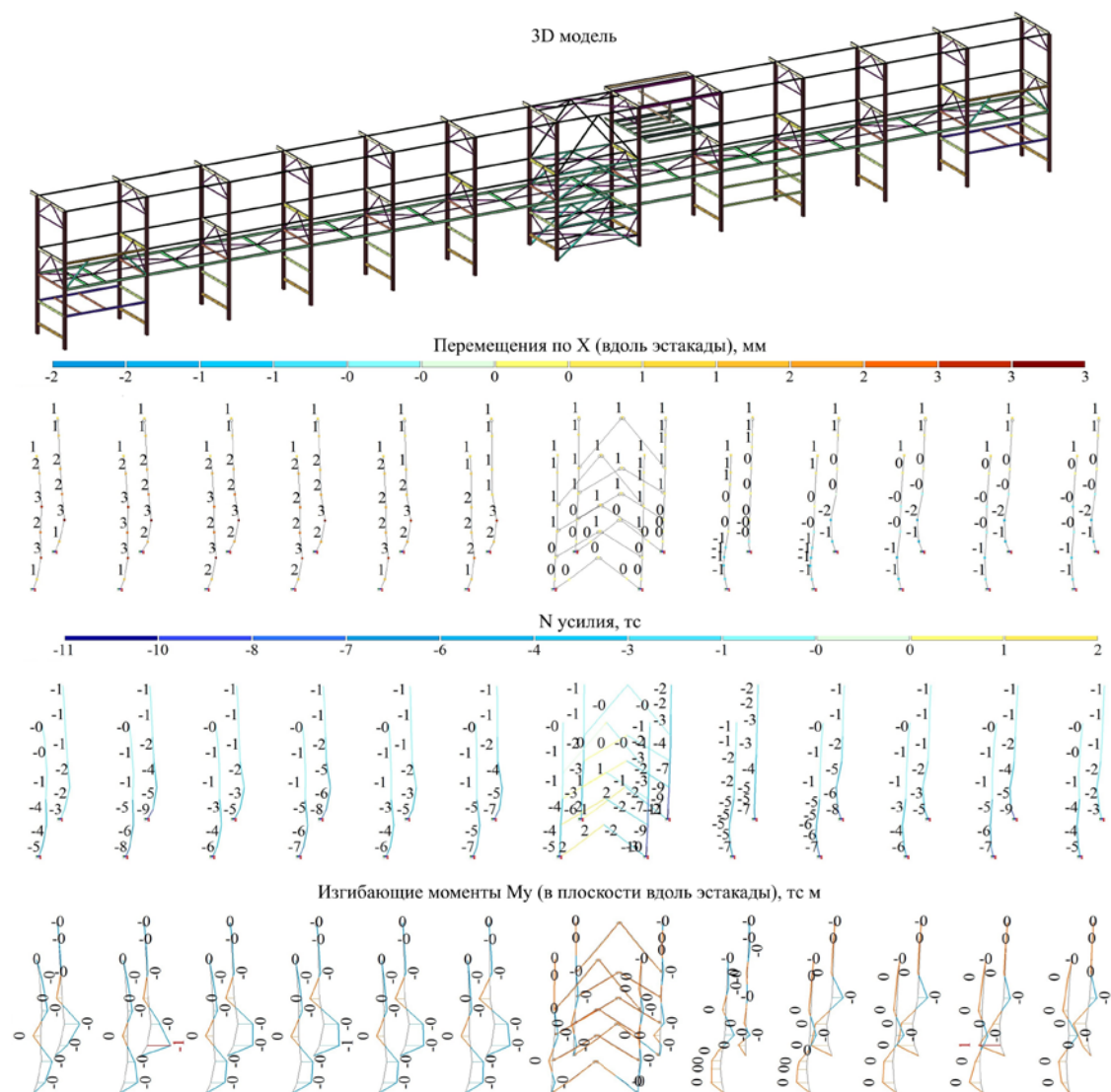


Рис. 4. Расчетная схема, перемещения и усилия в элементах технологической эстакады. Перемещения и усилия определены при загрузке вертикальными нагрузками и горизонтальными нагрузками от трубопроводов, направленными вдоль продольной оси эстакады

Fig. 4. Design scheme, movements, and forces in the elements of the process pipe rack: displacements and forces are determined under vertical and horizontal loads from pipelines directed along the longitudinal axis of the pipe rack

Обзор разработанных конструктивных решений

Решение с дублированием анкерной опоры и с устройством неразрезного пролетного строения в рамках температурного блока

Конструкция температурного блока опор включает промежуточные двухшарнирные опоры, анкерную опору, дублирующую анкерную опору, неразрезное пролетное строение и трубопроводы (рис. 5).

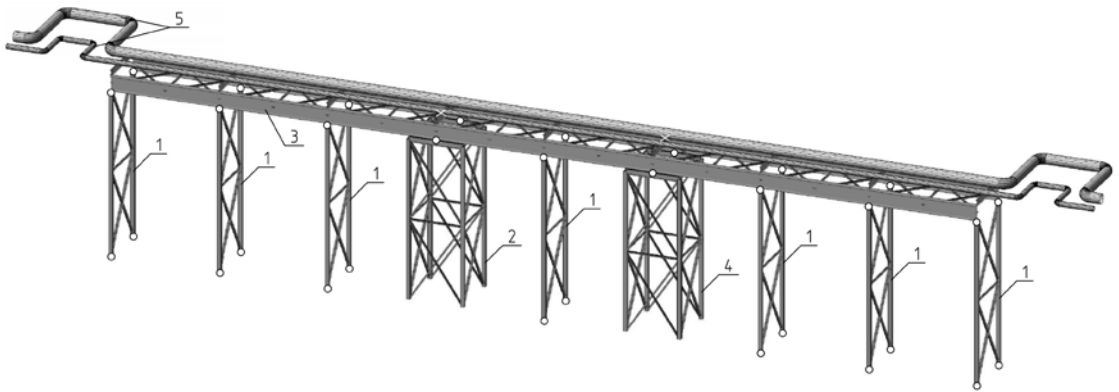


Рис. 5. Решение с дублированием анкерной опоры и с устройством неразрезного пролетного строения в рамках температурного блока: 1 – промежуточная двухшарнирная опора; 2 – анкерная опора; 3 – неразрезное пролетное строение; 4 – дублирующая анкерная опора; 5 – трубопроводы

Fig. 5. Design solution with anchor support duplication and continuous span structure within the temperature block: 1 – intermediate double-hinged support; 2 – anchor support; 3 – continuous span structure; 4 – duplicate anchor support; 5 – pipelines

В режиме нормальной эксплуатации анкерная опора и дублирующая анкерная опора совместно воспринимают все передающиеся на них горизонтальные продольные нагрузки от трубопроводов и обеспечивают геометрическую неизменяемость и устойчивость промежуточных двухшарнирных опор температурного блока. При аварийной расчетной ситуации с удалением анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении) оставшаяся дублирующая анкерная опора начинает воспринимать все передающиеся на нее горизонтальные продольные нагрузки от трубопроводов и обеспечивать геометрическую неизменяемость и устойчивость промежуточных двухшарнирных опор температурного блока. Неразрезное пролетное строение является основанием для трубопроводов и соединяет поверху все опоры температурного блока с обеспечением передачи всех горизонтальных продольных нагрузок от трубопроводов на анкерную опору и дублирующую анкерную опору. При аварийной расчетной ситуации с удалением любой опоры из расчетной схемы (локальном разрушении) неразрезное пролетное строение своим конструктивным исполнением (неразрезностью) продолжает соединять все опоры температурного блока с обеспечением передачи всех горизонтальных продольных нагрузок от трубопроводов на анкерную(ые) опору(ы).

Разработанное решение оформлено в виде заявки на выдачу патента на изобретение (№ 2024133306 от 07.11.2024 г.), в настоящее время проходит экспертизу в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности».

Решение с дублированием анкерной опоры и с устройством горизонтальных распорок в два уровня в рамках температурного блока

Как и в вышеописанном варианте, в данном решении содержатся две анкерные опоры в температурном блоке. Вместо неразрезного пролетного строения из первого решения в данном случае используются горизонтальные распорки, выполненные в два независимых друг от друга уровня (рис. 6).

В режиме нормальной эксплуатации анкерная опора и дублирующая анкерная опора совместно воспринимают все передающиеся на них горизонтальные продольные нагрузки

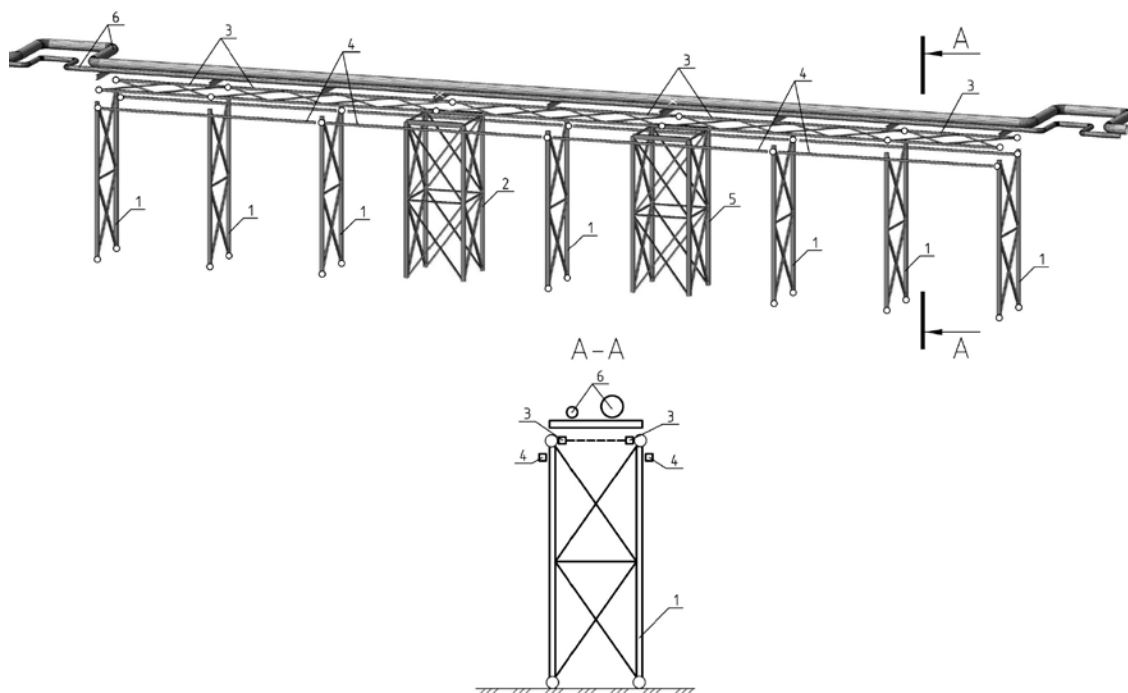


Рис. 6. Решение с дублированием анкерной опоры и с устройством горизонтальных распорок в два уровня в рамках температурного блока: 1 – промежуточная двухшарнирная опора; 2 – анкерная опора; 3 – горизонтальные распорки первого уровня; 4 – горизонтальные распорки второго уровня; 5 – дублирующая анкерная опора; 6 – трубопроводы

Fig. 6. Design solution with anchor support duplication and two levels of horizontal struts within the temperature block: 1 – intermediate double-hinged support; 2 – anchor support; 3 – first level horizontal struts; 4 – second level horizontal struts; 5 – duplicate anchor support; 6 – pipelines

от трубопроводов и обеспечивают геометрическую неизменяемость и устойчивость промежуточных двухшарнирных опор температурного блока. При аварийной расчетной ситуации с удалением анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении) оставшаяся дублирующая анкерная опора начинает воспринимать все передающиеся на нее горизонтальные продольные нагрузки от трубопроводов и обеспечивать геометрическую неизменяемость и устойчивость промежуточных двухшарнирных опор температурного блока. Горизонтальные распорки первого уровня и горизонтальные распорки второго уровня соединяют поверху все опоры температурного блока с обеспечением передачи всех горизонтальных продольных нагрузок от трубопроводов на анкерную опору и дублирующую анкерную опору. Горизонтальные распорки первого уровня и горизонтальные распорки второго уровня соединяются с опорами температурного блока через одну, за исключением крайних опор температурного блока, перекрывая удвоенный пролет опор. При этом места крепления горизонтальных распорок первого уровня к опорам температурного блока выполнены со смещением на один пролет, за исключением крайних опор температурного блока, относительно мест крепления горизонтальных распорок второго уровня. Таким образом, горизонтальные распорки первого уровня и горизонтальные распорки второго уровня независимо дублируют друг друга. При аварийной расчетной ситуации с удалением анкерной

опоры из расчетной схемы (локальном разрушении) происходит обрушение горизонтальных распорок первого уровня в смежных пролетах относительно удаленной опоры, при этом горизонтальные распорки второго уровня и оставшиеся горизонтальные распорки первого уровня продолжают соединять все опоры температурного блока с обеспечением передачи всех горизонтальных продольных нагрузок от трубопроводов на анкерную опору.

Разработанное решение оформлено в виде заявки на выдачу патента на изобретение (№ 2024133307 от 07.11.2024 г.), в настоящее время проходит экспертизу в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности».

Заключение

Подводя итог проделанной работы, можно сделать следующие выводы:

1. Выполнен анализ нормативных документов по теме защиты от прогрессирующего обрушения технологических эстакад. Делается вывод, что отсутствие подробных рекомендаций и методик расчета на устойчивость против прогрессирующего обрушения по отношению к технологическим эстакадам в целом снижает надежность вновь возводимых и существующих реконструируемых объектов. Предлагается выполнить разработку соответствующих рекомендаций, которые отражали бы специфику проектирования данных линейных инженерных сооружений.

2. Используя опыт обследования, выполнен анализ часто встречаемой компоновки температурного блока технологической эстакады повышенного уровня ответственности с устройством одной анкерной опоры с множеством промежуточных двухшарнирных опор, которые соединены друг с другом разрезными пролетными строениями или распорками. Отмечается недостаток данной компоновки в виде невозможности обеспечения геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при аварийной расчетной ситуации с удалением анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

3. Разработаны конструктивные решения по защите от прогрессирующего обрушения при аварийной расчетной ситуации с обеспечением геометрической неизменяемости и устойчивости промежуточных двухшарнирных опор температурного блока при удалении анкерной опоры из расчетной схемы (локальном разрушении).

Список литературы

1. Сабитов Л.С., Закирова М.А., Адушкин К.Г., Фомин Н.И., Ведяков М.И., Карпов Р.М. Разработка конструктивно-технологических решений по защите объектов энергетики от атак БПЛА. Строительная механика и расчет сооружений. 2025;(1):65–75. <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2025.1.65.75>.
2. Сабитов Л.С., Адушкин К.Г., Токарева Л.А., Айзатуллин М.М., Зарипов М.М. Характерные дефекты и несовершенства строительных конструкций опор эстакад промышленных предприятий. Строительное производство. 2024;(3):16–26.
3. Ведяков И.И., Еремеев П.Г., Одесский П.Д., Попов Н.А., Соловьев Д.В. Анализ нормативных требований к расчету строительных конструкций на прогрессирующее обрушение. Вестник НИЦ Строительство. 2019;21(2):15–29. EDN: UKTHLJ.
4. Еремеев П.Г., Ведяков И.И. Еще раз о проблеме защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Промышленное и гражданское строительство. 2021;(8):4–10. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2021.08.04-10>.

5. Сенькин Н.А. Учет прогрессирующего обрушения при проектировании опор воздушных линий электропередачи. Вестник гражданских инженеров. 2022;4(93):37–46. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2022-19-4-37-46>.
6. СП 43.13330.2012. Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85. Москва: Минстрой России; 2012.
7. Пособие по проектированию отдельно стоящих опор и эстакад под технологические трубопроводы (к СНиП 2.09.03-85). Москва: Стройиздат; 1989.
8. Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902192610?section=text>.
9. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2019.
10. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2018.
11. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия. Москва: Стандартинформ; 2017.
12. Сенькин Н.А. Прогессирующее обрушение и восстановление конструкций воздушных линий электропередачи. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023;(10):5–20. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-778-10-5-20>.
13. Методическое пособие. Проектирование мероприятий по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Москва: Минстрой России; 2020.
14. Адушкин К.Г., Токарева Л.А., Айзатуллин М.М., Сабитов Л.С. Критический анализ конструкций технологических и кабельных эстакад, а также отдельно стоящих опор под трубопроводы промышленных предприятий. Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2024;20(2):94–105.

References

1. Sabitov L.S., Zakirova M.A., Adushkin K.G., Fomin N.I., Vedyakov M.I., Karpov R.M. Development of engineering solutions to protect energy facilities from UAV attacks. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2025;(1):65–75. (In Russian). <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2025.1.65.75>.
2. Sabitov L.S., Adushkin K.G., Tokareva L.A., Aizatullin M.M., Zaripov M.M. Characteristic defects and imperfections of building structures of supports of overpasses of industrial enterprises. Construction production. 2024;(3):16–26. (In Russian). https://doi.org/10.54950/26585340_2024_3_16.
3. Vedyakov I., Yeremeyev P., Odesskiy P., Popov N., Solovyev D. Standard requirement analysis for the progressive collapse structure calculation. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2019;21(2):15–29. EDN: UKTHLJ. (In Russian).
4. Yeremeyev P.G., Vedyakov I.I. Once again about the problem of protecting buildings and structures from progressive collapse. Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2021;(8):4–10. (In Russian). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2021.08.04-10>.
5. Senkin N.A. Consideration of progressive collapse in the design of overhead power transmission line supports. Bulletin of Civil Engineers. 2022;(4):37–46. (In Russian). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2022-19-4-37-46>.
6. СП 43.13330.2012. Constructions of the industrial enterprises. Updated version of SNiP 2.09.03-85. Moscow: The Ministry of Construction of Russia; 2012. (In Russian).
7. Manual on the design of unstrutted pipe racks and process pipe racks (to SNiP 2.09.03-85). Moscow: Stroyizdat Publ.; 1989. (In Russian).
8. Federal Law of 30.12.2009 No. 384-FZ “Technical regulations on the safety of buildings and structures” [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902192610?section=text>. (In Russian).
9. State Standard 27751-2014. Reliability for constructions and foundations. General principles. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
10. СП 385.1325800.2018. Protection of buildings and structures against progressive collapse. Design code. Basic statements. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
11. СП 296.1325800.2017. Buildings and structures. Accidental actions. Moscow: Standartinform Publ.; 2017. (In Russian).

12. *Senkin N.A.* Progressive collapse and restoration of overhead power lines structures. News of higher educational institutions. Construction. 2023;(10):5–20. (In Russian). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-778-10-5-20>.

13. Manual on designing measures to protect buildings and structures from progressive collapse. Moscow: Ministry of Construction of Russia; 2020. (In Russian).

14. *Adushkin K.G., Tokareva L.A., Aizatullin M.M., Sabitov L.S.* Critical analysis of the of technological and cable racks designs, as well as separate-standing supports for pipelines of industrial enterprises. Herald of GSTOU. Technical Sciences. 2024;(2):94–105. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Константин Геннадьевич Адушкин✉, аспирант, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург

e-mail: 79126251270@yandex.ru

Konstantin G. Adushkin✉, Postgraduate Student, Ural Federal University, Yekaterinburg

e-mail: 79126251270@yandex.ru

Марат Мансурович Айзатуллин, аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань

e-mail: msagkh@tatar.ru

Marat M. Aizatullin, Postgraduate Student, Kazan State Power Engineering University, Kazan

e-mail: msagkh@tatar.ru

Михаил Иванович Ведяков, студент, НИУ МГСУ; инженер, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: vedyakov.misha@yandex.ru

Mikhail I. Vedyakov, Student, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University); Engineer, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: vedyakov.misha@yandex.ru

Никита Игоревич Фомин, канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург

e-mail: ni.fomin@urfu.ru

Nikita I. Fomin, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Ural Federal University, Yekaterinburg

e-mail: ni.fomin@urfu.ru

Линар Салихзанович Сабитов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология и организация строительного производства», НИУ МГСУ, Москва

e-mail: SabitovLS@mgsu.ru

Linar S. Sabitov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Department of Technology and Organization of Construction Production, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow

e-mail: SabitovLS@mgsu.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author