

УДК 624.014.2:69.059.4
EDN: ZDAPJV

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-4\(635\)-68-75](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-4(635)-68-75)

П.Е. ОГНЕВ

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ С КОМБИНИРОВАННЫМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННО-СТАЛЬНЫМ КАРКАСОМ

Аннотация

Введение. Промышленные здания с комбинированным железобетонно-стальным каркасом, запроектированные и построенные в советский период, как правило, не проверялись на устойчивость к прогрессирующему обрушению, поскольку соответствующие требования не входили в состав обязательных расчетов того времени. При реконструкции и продлении срока эксплуатации таких объектов действующие нормативные документы требуют выполнения поверочных расчетов с учётом аварийных воздействий, при этом часть расчетных запасов, достаточных ранее, может оказаться исчерпанной из-за роста нормативных нагрузок и введения дополнительных понижающих коэффициентов условий работы.

Цель. Разработка и апробация методики оценки устойчивости несущего каркаса промышленного здания к прогрессирующему обрушению применительно к главному корпусу ТЭЦ, подбор эффективных конструктивных решений по усилению перегруженных элементов.

Материалы и методы. Разработана пространственная стержневая расчётная модель здания в программном комплексе ЛИРА-САПР с детализированным заданием узлов сопряжения железобетонных и стальных элементов. Расчёт на прогрессирующее обрушение выполнен по методике последовательного удаления элементов (alternate load path) с итерационным исключением из расчетной схемы элементов, превысивших несущую способность, вплоть до стабилизации системы или развития недопустимых деформаций.

Результаты. Установлено, что стропильные конструкции покрытия котельного отделения устойчивы к рассмотренным сценариям локального разрушения, тогда как фермы машинного зала первой и второй очередей строительства неустойчивы и характеризуются дефицитом несущей способности до двух раз.

Разработаны адресные решения по усилению стальных ферм с введением дополнительных элементов решетки и продольных перехватывающих ферм, подтвержденные повторным расчетом.

Выводы. Предложенная методика позволяет выявлять уязвимые зоны каркасов промышленных зданий комбинированной конструктивной схемы и обосновывать минимально достаточные по объему мероприятия по усилению без остановки эксплуатации здания и полной разборки конструкций.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, живучесть конструкций, промышленное здание, комбинированный каркас, стальные фермы, стойкость к аварийным воздействиям, усиление конструкций

Для цитирования: Огнев П.Е. Обеспечение стойкости к прогрессирующему обрушению промышленного здания с комбинированным железобетонно-стальным каркасом // Бетон и железобетон. 2026. № 4(635). С. 68–75. [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-4\(635\)-68-75](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-4(635)-68-75) EDN: ZDAPJV

Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.07.2026

Поступила после рецензирования 10.08.2026

Принята к публикации 13.08.2026

P.E. OGNEV

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

ENSURING RESISTANCE TO PROGRESSIVE COLLAPSE OF AN INDUSTRIAL BUILDING WITH A COMBINED REINFORCED CONCRETE AND STEEL FRAME

Abstract

Introduction. Industrial buildings with a combined reinforced concrete and steel frame, designed and built during the Soviet period, were generally not checked for resistance to progressive collapse, since the relevant requirements were not part of the mandatory calculations of that time. When such facilities are reconstructed and their service life extended, current codes require verification calculations that take accidental actions into account, and part of the reserves that were previously sufficient may prove to be exhausted owing to increased design loads and additional reduction factors.

Aim. Development and verification of a method for assessing the resistance of the load-bearing frame of an industrial building to progressive collapse, using the main building of a heat power plant as an example, and selection of efficient strengthening solutions for overloaded elements.

Materials and methods. A spatial bar finite-element model of the building was developed in the LIRA-SAPR software package with detailed modelling of the joints between reinforced concrete and steel elements. The progressive collapse analysis was performed using the alternate-load-path method with successive removal of elements that exceed their bearing capacity, up to system stabilisation or the development of inadmissible deformations.

Results. The roof trusses of the boiler unit were found to be resistant to the local-failure scenarios considered, whereas the machine-hall trusses of the first and second construction stages proved unstable, with a bearing-capacity deficit of up to two times. Targeted strengthening solutions for the steel trusses were developed, including additional lattice members and longitudinal intercepting trusses, and their efficiency was confirmed by a repeat analysis.

Conclusions. The proposed method makes it possible to identify vulnerable zones of the frames of industrial buildings with a combined structural scheme and to justify minimally sufficient strengthening measures without stopping the building's operation or completely dismantling the structures.

Keywords: progressive collapse, structural robustness, industrial building, combined frame, steel trusses, resistance to accidental actions, structural strengthening

For citation: Ognev P.E. Ensuring resistance to progressive collapse of an industrial building with a combined reinforced concrete and steel frame. *Concrete and Reinforced Concrete*, 2026, no. 4(635), pp. 68–75. (In Russian) [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-4\(635\)-68-75](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-4(635)-68-75) EDN: ZDAPJV

Author contribution statements

The author takes responsibility for all aspects of the article.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 20.07.2026

Revised 10.08.2026

Accepted 13.08.2026

Введение

Многэтажные и одноэтажные промышленные здания регулярного типа, возведенные в 1960–1970-е гг., в подавляющем большинстве случаев имеют комбинированный каркас, в котором совместно работают железобетонные колонны, ригели и плиты перекрытий со стальными стропильными фермами и связями [1]. Такое сочетание материалов было экономически оправдано при больших пролетах и значительных крановых нагрузках, однако создает дополнительную сложность при поверочных расчетах: несущая способность и деформация железобетонных и стальных элементов изменяются во времени и при аварийных воздействиях по-разному, а узлы их сопряжения (шарнирное опирание ферм на консоли колонн, опирание подкрановых балок и распорок) требуют корректной идеализации в расчетной схеме [2, 3].

Требования к оценке стойкости зданий к прогрессирующему обрушению установлены в СП 385.1325800.2018 и СП 296.1325800.2017 [4, 5] и предполагают проверку способности конструктивной системы к перераспределению усилий при внезапном локальном отказе несущего элемента (колонны, ригеля, фермы, связи). Для существующих промышленных зданий, запроектированных без учёта данных требований, при реконструкции необходимо выполнять два вида расчетов: поверочный статический расчет на действующие нормативные нагрузки и расчет на аварийные (особые) сочетания воздействий с последовательным исключением элементов расчетной схемы [6, 7].

Вопросам живучести и оценки риска прогрессирующего обрушения железобетонных и стальных конструктивных систем посвящен ряд работ отечественных авторов [8–10], в которых рассмотрены аналитические и численные подходы к расчету статически неопределимых систем при локализации разрушения, критерии живучести и вероятностные методы оценки риска. Вместе с тем методики, учитывающие

специфику именно комбинированных каркасов промышленных зданий – с шарнирным опиранием стальных ферм на железобетонные колонны и различной историей нормирования нагрузок по очередям строительства, – разработаны в меньшей степени и нуждаются в апробации на реальных объектах.

Целью настоящей работы является разработка и апробация инженерной методики оценки устойчивости несущего каркаса промышленного здания к прогрессирующему обрушению на примере главного корпуса теплоэлектроцентрали, а также разработка конструктивных решений по усилению выявленных уязвимых зон каркаса.

Основной раздел

1. Объект исследования и расчётная модель

Объектом исследования является несущий каркас главного корпуса ТЭЦ в пределах деформационных швов, включающий фундаменты, колонны, распорки, ригели, плиты перекрытий и покрытия из сборного железобетона, а также стропильные фермы и связи покрытия из стали. Здание возводилось тремя очередями строительства (1960, 1967 и 1972 гг.), что определило различие в шаге колонн (6,0 м для 1-й и 2-й очередей, 12,0 м – для 3-й), сечениях элементов и узловых решениях [11–12].

Расчётная модель разработана в программном комплексе ЛИРА-САПР методом конечных элементов в перемещениях. Колонны, ригели, элементы ферм и связи моделировались универсальным пространственным стержневым конечным элементом; стропильные фермы заданы стержневыми элементами с типом работы «ферма», воспринимающими только продольные усилия. Узлы опирания ферм на колонны приняты шарнирными, узлы сопряжения ригелей с колоннами – жесткими; смена сечения колонн по высоте моделировалась введением жестких вставок с эксцентриситетом передачи нагрузки.

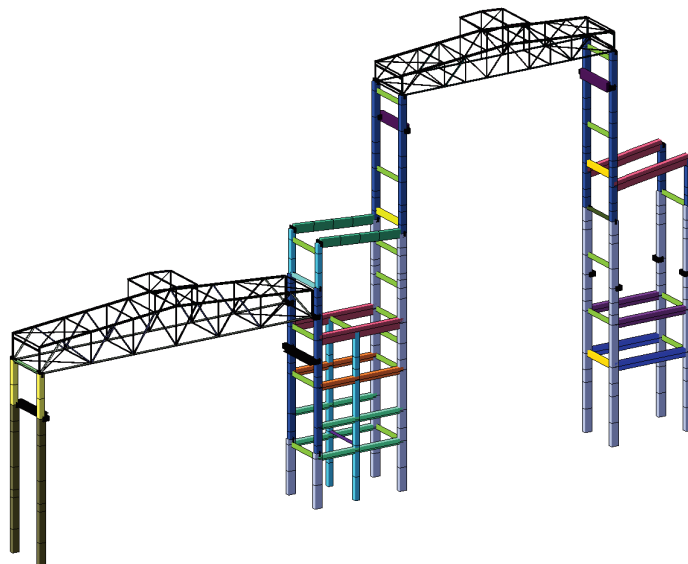


Рис. 1. Расчетная схема (3D-модель) рамы промышленного здания с комбинированным железобетонно-стальным каркасом
Fig. 1. Design scheme (3D model) of the frame of an industrial building with a combined reinforced concrete–steel structural frame

2. Нагрузки и расчётные сочетания усилий

Нагрузки на расчётную модель приняты в соответствии с СП 20.13330.2016 [13]: нормативный вес снегового покрова $S_g = 1,5$ кПа (III снеговой район), нормативное ветровое давление $W_0 = 0,23$ кПа (I ветровой район, тип местности В), коэффициенты надёжности по снеговой и ветровой нагрузкам – 1,4. Крановые нагрузки определены для мостовых кранов грузоподъёмностью 50–100 т с учетом коэффициентов сочетаний и надёжности по СП 20.13330.2016.

Отдельно учтена технологическая нагрузка от оборудования, приложенная в виде сосредоточенных сил на ригели перекрытий.

При проверке прочности колонн первого этажа вводился дополнительный коэффициент сочетаний, учитывающий неодновременное приложение временных нагрузок ко всем перекрытиям (п. 8.2.5 СП 20.13330.2016). Полная таблица коэффициентов сочетаний для расчётных сочетаний нагрузок (РСН) приведена на рис. 2.

№ загр.	Имя загрузки	Вид	1 осн.	2 осн.	Аварийн.	4 сочет.	5 сочет.	6 сочет.
1	Собственный вес железобетонных конструкций	Постоянная (П)	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
2	Собственный вес металлических конструкций	Постоянная (П)	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
3	Нагрузка от перекрытий	Постоянная (П)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	Вставка полезная	Длительная (Д)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	Вставка снеговая	Кратковременная (К)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	Вставка ветровая	Кратковременная (К)	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
7	Собственный вес снеговых призм / отложений	Постоянная (П)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
8	I очередь, ветер	Кратковременная (К)	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990
9	II очередь, снег 1	Кратковременная (К)	1.100	0.000	1.100	0.000	1.100	1.100
10	II очередь, снег 2	Кратковременная (К)	0.000	1.100	0.000	1.100	0.000	0.000
11	Перекрытия и покрытия	Постоянная (П)	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
12	Нагрузка от оборудования	Длительная (Д)	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
13	Эксплуатационная нагрузка 1	Длительная (Д)	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040
14	Эксплуатационная нагрузка 2	Длительная (Д)	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040
15	Эксплуатационная нагрузка 3	Длительная (Д)	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040
16	Эксплуатационная нагрузка 4	Длительная (Д)	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040
17	Эксплуатационная нагрузка 5	Длительная (Д)	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040
18	Эксплуатационная нагрузка 6	Длительная (Д)	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040
19	Эксплуатационная нагрузка 7	Длительная (Д)	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040
20	2 крана, вертикальное усилие А-Б	Кран (Кр)	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21	1 кран, вертикальное усилие А-Б	Кран (Кр)	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000
22	1 кран, вертикальное усилие А-Б	Кран (Кр)	0.000	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000
23	1 кран, вертикальное усилие А-Б	Кран (Кр)	0.000	0.000	0.000	1.100	0.000	0.000
24	Кран, горизонтальное усилие А-Б	Тормоз (Т)	0.000	0.000	0.000	0.000	1.100	0.000
25	Кран, горизонтальное усилие А-Б	Тормоз (Т)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.100
26	2 крана, вертикальное усилие Г-Д	Кран (Кр)	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27	2 крана, вертикальное усилие Г-Д	Кран (Кр)	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000
28	2 крана, горизонтальное усилие Г-Д	Тормоз (Т)	0.000	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000
29	2 крана, горизонтальное усилие Г-Д	Тормоз (Т)	0.000	0.000	0.000	1.100	0.000	0.000
30	2 крана, вертикальное усилие	Кран (Кр)	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
31	2 крана, вертикальное усилие	Кран (Кр)	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000
32	2 крана, горизонтальное усилие	Тормоз (Т)	0.000	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000
33	2 крана, горизонтальное усилие	Тормоз (Т)	0.000	0.000	0.000	1.100	0.000	0.000
34	2 крана, вертикальное усилие	Кран (Кр)	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
35	2 крана, вертикальное усилие	Кран (Кр)	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000
36	2 крана, горизонтальное усилие	Тормоз (Т)	0.000	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000
37	2 крана, горизонтальное усилие	Тормоз (Т)	0.000	0.000	0.000	1.100	0.000	0.000

Рис. 2. Коэффициенты сочетаний расчетных сочетаний нагрузок (РСН)
Fig. 2. Load combination factors for design load cases (DLC)

3. Результаты статического расчета несущих конструкций

По результатам поверочного статического расчета на основные сочетания нагрузок выявлено следующее:

- стропильные фермы котельного отделения (1-я и 2-я очереди) имеют достаточную несущую способность, коэффициент использования сечения большей части элементов не превышает 0,83; максимальные усилия в нижнем поясе (растяжение) составляют 119 т, в верхнем поясе (сжатие) – 123 т;
- фермы машинного зала 1-й очереди строительства (оси 19–30) имеют дефицит несущей способности до 14 % – перегружены опорный раскос и отдельные элементы решетки;
- фермы машинного зала 2-й очереди строительства (оси 30–42) имеют дефицит несущей способности до двух раз (коэффициент использования сечения отдельных элементов достигает 2,03), верхний и нижний пояса перегружены более чем в 1,6 раза; состояние данных ферм по результатам расчета оценено как аварийное;
- по железобетонным конструкциям 1-й очереди выявлен локальный недостаток проектного армирования наклонных ригелей покрытия (до 1,73 раза), по конструкциям 2-й очереди – до 17 % в отдельных ригелях перекрытий; проектного армирования колонн по всем осям достаточно.

4. Методика расчёта на прогрессирующее обрушение

Расчёт на прогрессирующее обрушение выполнялся на нормативные (не расчётные) характеристики бетона, арматуры и стального проката при начальных модулях упругости материалов; снеговая нагрузка учитывалась с понижающим коэффициентом

0,5, крановая и ветровая нагрузки не учитывались, коэффициент надежности по ответственности принят равным 1,0. Для стального проката введены дополнительные повышающие коэффициенты условий работы для пластичных сталей в соответствии с приложением Б СП 296.1325800.2017, понижающие коэффициенты условий работы из СП 16.13330.2017 не применялись.

Расчет выполнен по методу последовательного удаления элементов (alternate load path method) для семи сценариев локального отказа элементов стропильной системы (опорный раскос, нижний пояс фермы и др.). Алгоритм включал: статический расчет системы с измененными нагрузками и характеристиками материалов; анализ результатов и исключение из схемы элементов, у которых коэффициент использования сечения превысил 100 %; повторение итераций вплоть до стабилизации усилий либо развития недопустимых вертикальных деформаций смежных конструкций.

5. Результаты расчёта аварийных сценариев

Стропильная конструкция покрытия котельного отделения оказалась устойчивой к прогрессирующему обрушению при всех рассмотренных сценариях: после четырех итераций разрушения элементов решетки не выявлено, максимальные вертикальные прогибы составили 17 см.

Стропильные конструкции покрытия машинного зала 1-й и 2-й очередей неустойчивы: разрушение элементов решетки продолжилось после четвертой итерации, максимальные вертикальные деформации превысили 1,5 м (1-я очередь) и 3,5 м (2-я очередь), что фактически соответствует обрушению плит покрытия и разрушению кровельной системы.

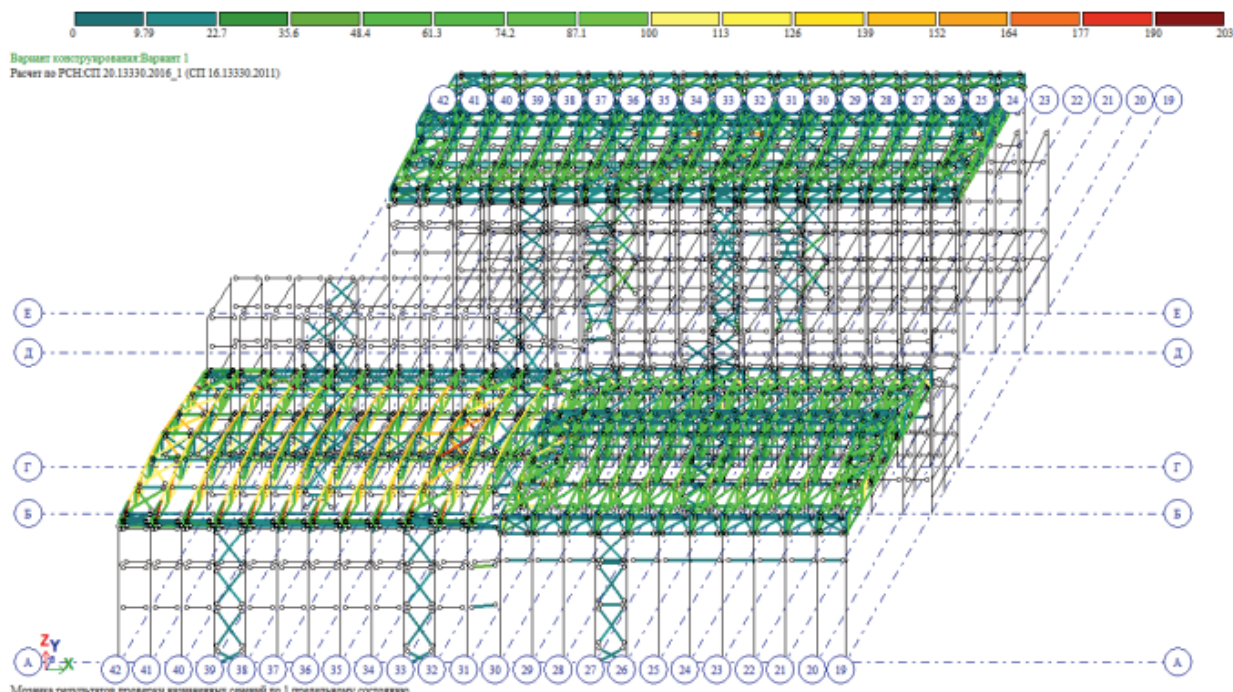


Рис. 3. Коэффициент использования сечений элементов стропильных ферм по результатам статического расчета
Fig. 3. Member utilization ratios for roof truss sections from static analysis

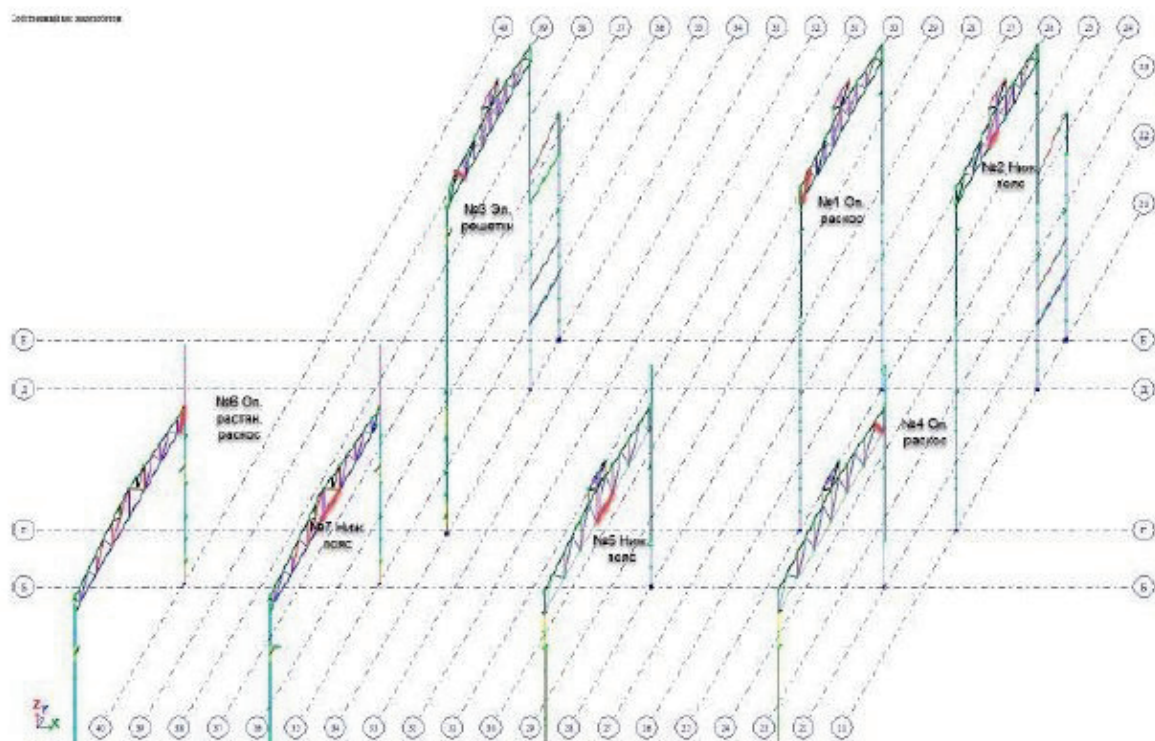


Рис. 4. Схема расположения удаляемых элементов стропильных ферм при расчете на прогрессирующее обрушение
Fig. 4. Layout of removed truss members for progressive collapse analysis

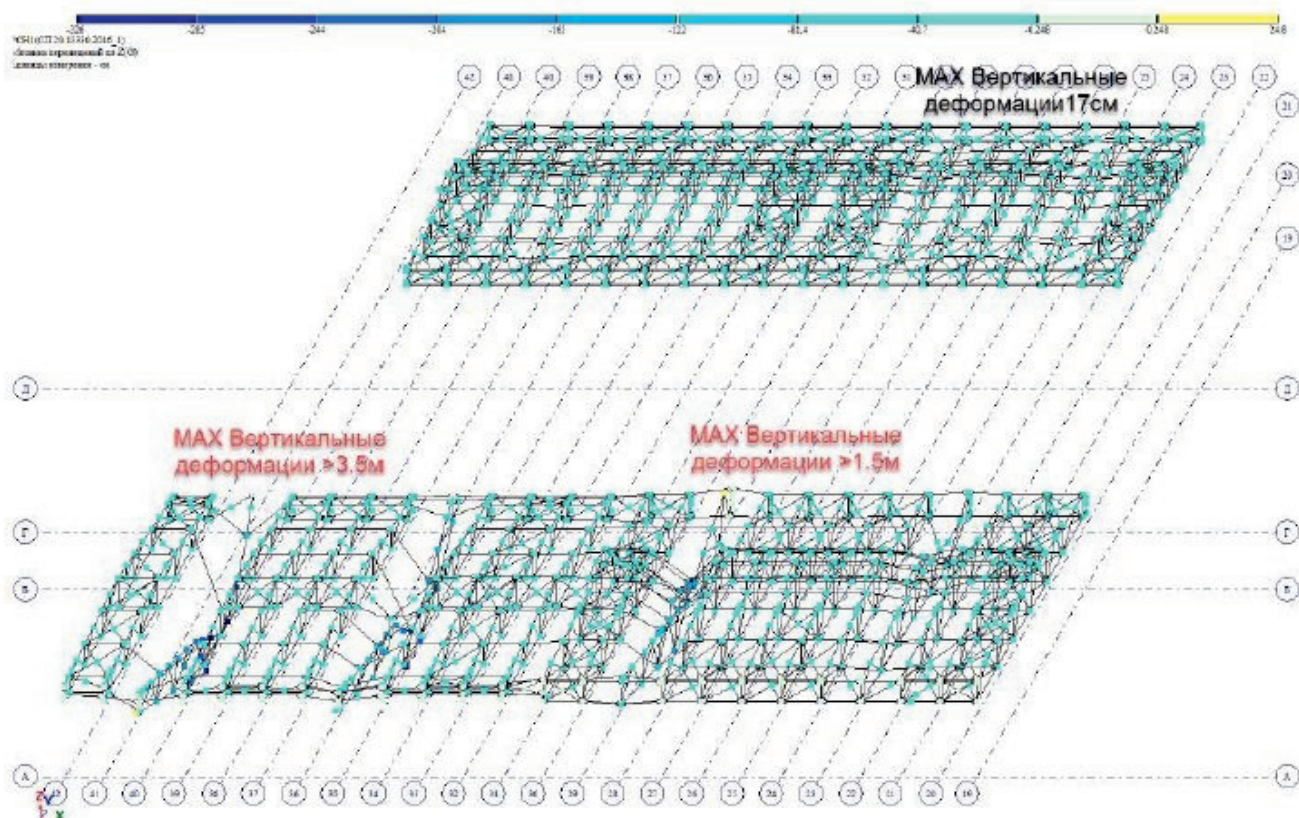


Рис. 5. Максимальные вертикальные деформации стропильных конструкций при расчете на прогрессирующее обрушение (до усиления)
Fig. 5. Maximum vertical deflections of roof structures under progressive collapse analysis (before strengthening)

6. Разработка и проверка эффективности решений по усилению

Для приведения стропильных конструкций машинного зала в устойчивое к прогрессирующему обрушению состояние разработан комплекс мероприятий: увеличение сечений отдельных элементов ферм приваркой дополнительных стальных элементов; введение дополнительных элементов решётки для уменьшения расчётных длин сжатых стержней и подкрепления верхнего пояса в местах опирания плит; устройство продольной перехватывающей (подстропильной) фермы в середине пролёта. Усиление ригелей выполнено путем наращивания сечения в растянутой зоне приваркой дополнительной армату-

ры класса А400, что обеспечило увеличение несущей способности более чем в 1,5 раза.

Повторный статический расчёт подтвердил включение элементов усиления в совместную работу конструкции: несущая способность всех ферм 1-й и 2-й очереди строительства обеспечена, предельные вертикальные деформации узлов ферм машинного зала 2-й очереди сократились на 27 % (с 99 до 78 мм). Расчёт на прогрессирующее обрушение для усиленной конструкции по тем же семи сценариям локального отказа показал устойчивость покрытия ко всем рассмотренным воздействиям: максимальные деформации узлов ферм машинного зала не превысили 58 см, ферм котельного отделения – 16 см.

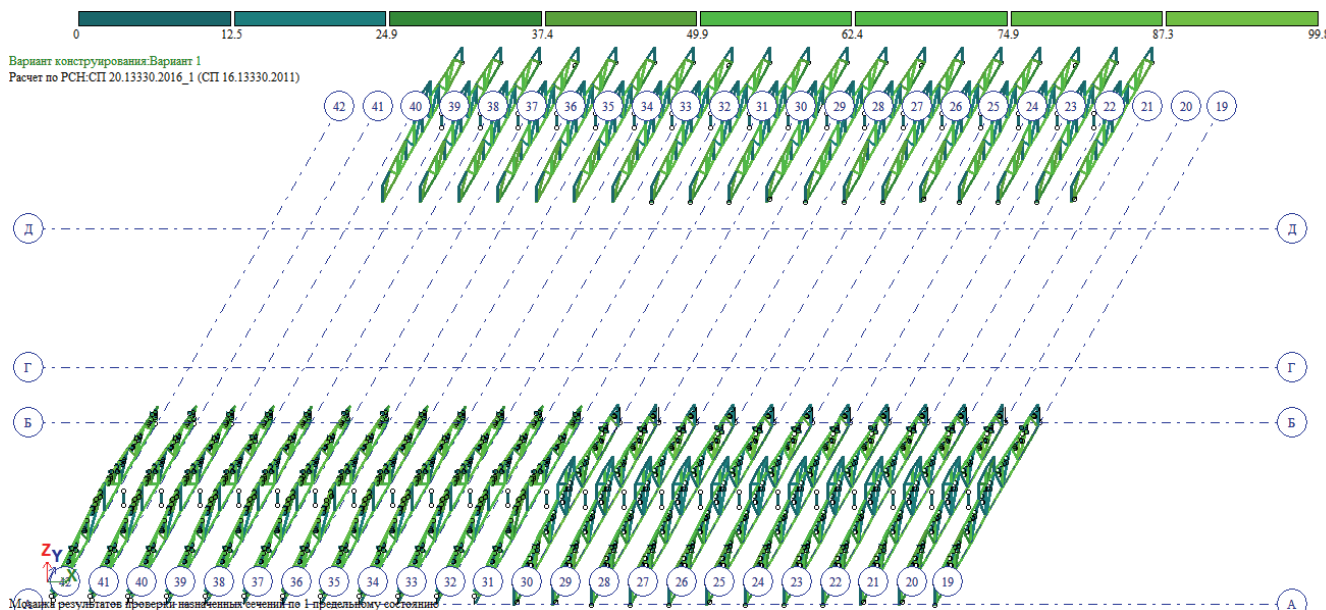


Рис. 6. Коэффициент использования сечений стропильных ферм после реализации мероприятий по усилению

Fig. 6. Member utilization ratios of roof truss sections after retrofit

Выводы

– промышленные здания с комбинированным железобетонно-стальным каркасом, запроектированные по нормам прошлых лет, как правило, не проверялись на прогрессирующее обрушение; с учётом роста нормативных нагрузок и введения дополнительных понижающих коэффициентов условий работы поверочные расчеты с высокой вероятностью выявляют дефицит несущей способности отдельных элементов, в первую очередь стальных стропильных ферм;

– предложенный алгоритм последовательного удаления элементов с итерационным исключением перегруженных стержней позволяет объективно выявлять уязвимые зоны конструктивной системы и оценивать способность каркаса к перераспределению усилий при локальном отказе несущего элемента без привлечения экспертных допущений;

– разработан универсальный подход к усилению зданий с комбинированным каркасом, включающий устройство дополнительных продольных перехватывающих ферм (в середине пролёта и/или по колоннам) в сочетании с локальным увеличением сечений

перегруженных элементов решетки и поясов, позволяющий обеспечить требуемую живучесть конструктивной системы без остановки эксплуатации здания и полной разборки каркаса;

– эффективность предложенных решений подтверждена повторным расчетом на статические нагрузки и на прогрессирующее обрушение по идентичным аварийным сценариям, что позволяет рекомендовать методику к применению при реконструкции аналогичных промышленных объектов повышенного уровня ответственности.

Список литературы

1. Марудина И.Г., Златковская Э.Е. Гражданские и промышленные здания: учебное пособие. Минск: РИПО, 2022. 378 с.
2. Плевков В.С., Гончаров М.Е. Стыки железобетонных колонн с усилением металлическими элементами: монография / под ред. В.С. Плевкова. Томск: ТГАСУ, 2023. 228 с. ISBN: 978-5-605-02457-6 EDN: BSNIPO
3. Жидков А.Е. Общие сведения о производствен-

- ных зданиях: учебное пособие. Ч. 1: Назначение, классификация, унификация. Основные несущие конструкции одноэтажных зданий. Тула: ТулГУ, 2024. 159 с.
4. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. М.: Минстрой России, 2018.
 5. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия. М.: Минстрой России, 2017.
 6. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2019. 137 с.
 7. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23–81*. М.: Стандартинформ, 2018.
 8. Колчунов В.И., Ильющенко Т.А., Федорова Н.В., Савин С.Ю., Тур В.В., Лизогуб А.А. Живучесть конструктивных систем зданий и сооружений: аналитический обзор исследований. *Строительство и реконструкция*. 2024;(3):31–71. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2024-113-3-31-71>
 9. Колчунов В.И., Кореньков П.А., Федорова Н.В. Программа экспериментальных исследований сложно напряженных узлов железобетонных конструкций. *Вестник МГСУ*. 2025; 20(8):1165–1177. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2025.8.1165-1177>
 10. Тамразян А.Г. Вероятностный критерий оценки живучести железобетонных рам при локализации разрушения // *Вестник МГСУ*. 2025. Т. 20. № 7. С. 1061–1071. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.7.1061-1071 EDN: UCPSKZ
 11. Тамразян А.Г. Концептуальные подходы к оценке живучести строительных конструкций, зданий и сооружений // *Железобетонные конструкции*. 2023. Т. 3. № 3. С. 62–74. DOI: 10.22227/2949-1622.2023.3.62-74 EDN: IKRNWX
 12. Кабанцев О.В., Лапшинов А.Е. Обзор мирового опыта по проведению натурных испытаний существующих железобетонных конструкций. *Вестник МГСУ*. 2024;19(9):1505–1520. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2024.9.1505-1520>
 13. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*. М.: Стандартинформ, 2017.
 3. Zhidkov A.E. General information on industrial buildings. Part 1: Purpose, classification, unification. Basic load-bearing structures of single-storey buildings. Tula, TulSU, 2024. 159 p. (In Russian)
 4. SP 385.1325800.2018. Buildings and structures. Protection against progressive collapse. Design rules. Basic provisions. Moscow, Minstroy Rossii, 2018. (In Russian)
 5. SP 296.1325800.2017. Buildings and structures. Special actions. Moscow, Minstroy Rossii, 2017. (In Russian)
 6. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. Moscow, Standartinform, 2019. 137 p. (In Russian)
 7. SP 16.13330.2017. Steel structures. Updated edition of SNiP II-23–81*. Moscow, Standartinform, 2018. (In Russian)
 8. Kolchunov V.I., Iliushchenko T.A., Fedorova N.V., Savin S.Y., Tur V.V., Lizahub A.A. Structural robustness: an analytical review. *Building and Reconstruction*. 2024;(3):31–71. (In Russian) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2024-113-3-31-71>
 9. Kolchunov V.I., Korenkov P.A., Fedorova N.V. Experimental research programme of complex stressed nodes of reinforced concrete structures. *Vestnik MGSU*. 2025; 20(8):1165–1177. (In Russian) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2025.8.1165-1177>
 10. Tamrazyan A.G. Probabilistic criterion for assessing the robustness of reinforced concrete frames under localized failure. *Vestnik MGSU*, 2025, vol. 20, no. 3, pp. 347–360. (In Russian) DOI: 10.22227/1997-0935.2025.7.1061-1071 EDN: UCPSKZ
 11. Tamrazyan A.G. Conceptual approaches to assessing the robustness of building structures. *Zhelezobetonnye konstruksii*, 2023, vol. 3, no. 3, pp. 62–71. (In Russian) DOI: 10.22227/2949-1622.2023.3.62-74 EDN: IKRNWX
 12. Kabantsev O.V., Lapshinov A.E. A review of the world experience in full-scale testing of existing reinforced concrete structures. *Vestnik MGSU*. 2024;19(9):1505–1520. (In Russian) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2024.9.1505-1520>
 13. SP 20.13330.2016. Loads and actions. Updated edition of SNiP 2.01.07–85*. Moscow, Standartinform, 2017. (In Russian)

References

1. Marudina I.G., Zlatkovskaya E.E. Civil and industrial buildings: study guide. Minsk, RIPO, 2022. 378 p. (In Russian)
2. Plevkov V.S., Goncharov M.E. Joints of reinforced concrete columns strengthened with metal elements: monograph / V.S. Plevkov, ed. Tomsk, TSUAB, 2023. 228 p. (In Russian) ISBN: 978-5-605-02457-6 EDN: BSNIP0

Информация об авторе / Information about the author

Огнев Петр Евгеньевич, магистрант, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва ognev.pet@yandex.ru
Peter E. Ognev, Master's Degree Student, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow ognev.pet@yandex.ru