

УДК 624.016

## Инновационные конструкции каркасов промышленных зданий

**В. В. Веселов**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Веселов В. В. Инновационные конструкции каркасов промышленных зданий // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 4. — С. 1025–1034. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-4-1025-1034

### Аннотация

**Цель:** Выполнить анализ использования комбинированных сталебетонных конструкций в каркасах одноэтажных промышленных зданий, в том числе на транспорте, исследовать возможное снижение материалоемкости и стоимости предлагаемой инновационной комбинированной конструкции каркаса здания при повышении жесткости и надежности. **Методы:** Анализ комбинированных конструкций известных конструктивных решений, расчет нескольких вариантов каркасов с привлечением расчетных программных комплексов по действующим методикам. **Результаты:** Традиционные конструкции каркасов промышленных зданий с применением металлических конструкций не всегда обладают достаточной жесткостью, стойкостью к прогрессирующему обрушению, претерпевают различные повреждения от силовых, механических, а также особых нагрузок и воздействий, особенно на транспорте. Для каркасов промышленных зданий с большими пролетами, как правило, дополнительно требуется применение конструктивных мероприятий против возможного прогрессирующего обрушения. На кафедре «Строительные конструкции, здания и сооружения» ПГУПС ведутся разработки перспективных конструктивных решений для каркасов зданий и их элементов, отличающихся повышенной жесткостью, несущей способностью и надежностью. Предложена инновационная конструкция каркаса промышленного здания повышенной жесткости, которая включает колонны, стропильные фермы, подкрановые балки, а также систему связей, покрытие и стеновые панели. Покрытие выполнено из ребристых железобетонных плит с замоноличенными бетоном швами, опорные поперечные ребра которых жестко соединены сварными швами с верхним поясом стропильных ферм, стеновые панели выполнены из железобетонных плит с замоноличенными бетоном швами, опорные поперечные ребра которых жестко соединены сварными швами с наружной поверхностью колонн. Выполнен расчет нескольких вариантов каркаса промышленного здания, установлена величина снижения веса конструкции, ее стоимости, повышения жесткости инновационного конструктивного решения. **Практическая значимость:** Подтверждены основные преимущества комбинированных сталебетонных конструкций в каркасах одноэтажных промышленных зданий. Инновационная конструкция каркаса демонстрирует снижение массы на 18 %, стоимости — на 25 % и повышение жесткости на 35 % по сравнению с традиционными металлическими каркасами. Предлагаемое решение перспективно для промышленных зданий с большими пролетами, в том числе объектов транспортной инфраструктуры.

**Ключевые слова:** Одноэтажные здания, промышленные здания, каркас, металлические конструкции, комбинированные конструкции, сталебетон, особые нагрузки, несущая способность, жесткость, прогрессирующее обрушение.

## Введение

Одноэтажные промышленные (производственные) здания транспортных зданий и сооружений проектируют в большинстве случаев классов КС-2 и КС-3, что вызывает дополнительные требования к конструированию каркасов таких зданий [1].

Металлические каркасы производственных зданий на транспорте часто подвержены большим деформациям от механических, силовых и других воздействий, претерпевают потерю местной и общей устойчивости, коррозию и другие повреждения, вплоть до прогрессирующего обрушения от особых нагрузок и воздействий [2], вызванных в том числе неграмотной эксплуатацией объекта [3].

Для каркасов производственных зданий с пролетами от 30 м, как для большепролетных, дополнительно требуется применение конструктивных мероприятий для повышения надежности и предотвращения возможного прогрессирующего обрушения [4]. Для решения данной проблемы используют, как правило, общеизвестные приемы, рекомендуемые нормами. Например, рационально применять в каркасах зданий пространственные металлические конструкции, использовать в элементах каркаса гибридные или комбинированные конструкции с применением стали, бетона, композитов [5–7], что позволяет также уменьшать размеры поперечного сечения элементов при экономии расхода стали металлического каркаса здания [8]. Для восприятия аварийных нагрузок нормы рекомендуют также использовать подстропильные балки, фермы по неразрезной схеме и расчетные вертикальные связи между фермами покрытия, которые должны быть расположены по всей длине здания в нескольких зонах [9].

В практике проектирования современных зданий иногда встречаются инновационные конструктивные решения каркасов с повышенной

жесткостью. Так, например, известны конструктивные средства увеличения пространственной жесткости одноэтажных производственных зданий [10], включающие металлический каркас с рамами, систему вертикальных и горизонтальных связей, диафрагмы жесткости в виде стеновых железобетонных панелей. При этом верхняя часть ступенчатой колонны каркаса имеет повышенную жесткость за счет увеличения поперечного сечения; покрытие здания имеет повышенную жесткость при его работе в горизонтальной плоскости за счет неразрезной схемы железобетонных плит покрытия, устройства шпонок между плитами; а в деформационных швах покрытия выполнены горизонтальные связи в виде металлических податливых стержней [10].

Недостатком конструктивных средств увеличения пространственной жесткости одноэтажных производственных зданий [10] и аналогичных ему конструктивных решений является увеличенная материалоемкость, а иногда и трудоемкость изготовления по причине большого расхода металла на несущие элементы каркаса, так как ограждающие конструкции не включаются в надежную совместную работу с ними и не учитываются в расчете каркаса.

Простым и часто неиспользуемым на практике конструктивным приемом является вовлечение в совместную работу с каркасом здания его ограждающих элементов — стеновых панелей и плит покрытия. Такой конструктивный прием может быть весьма эффективен, в частности при возведении стен и плит из железобетона [11].

На кафедре «Строительные конструкции, здания и сооружения» ПГУПС ведутся разработки перспективных конструктивных решений каркасов зданий и их элементов, обладающих повышенной жесткостью, несущей способностью и надежностью при минимизации материалоемкости и трудоемкости изготовления [12–17].

### Практическое применение и результаты

Предлагается инновационная конструкция каркаса одноэтажного производственного здания (рис. 1), защищенная патентом на изобретение [18].

Предлагаемая инновационная конструкция металлического каркаса одноэтажного производственного здания повышенной жесткости включает:

– стальные ступенчатые колонны;

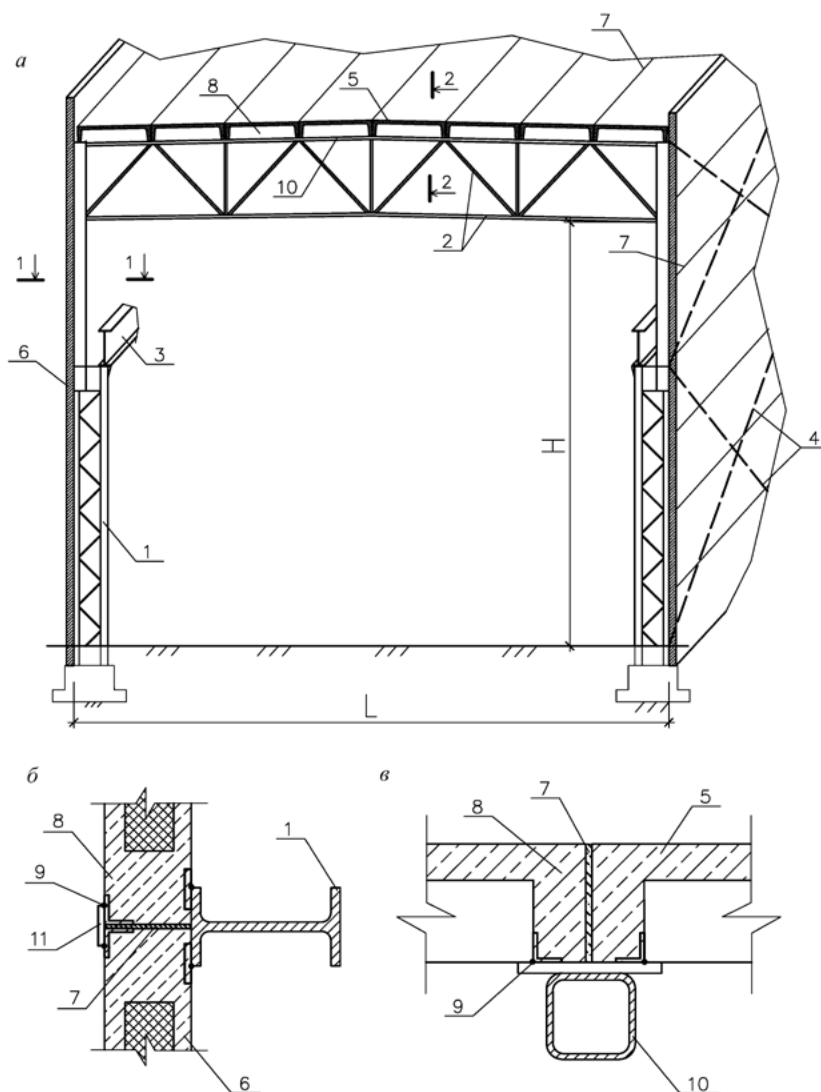
– опирающиеся на них стальные фермы покрытия;

– стальные подкрановые балки для мостовых кранов;

– систему вертикальных и горизонтальных связей между колоннами и фермами;

– железобетонные плиты покрытия;

– железобетонные панели стен.



**Рис. 1.** Общий вид металлического каркаса одноэтажного производственного здания повышенной жесткости:

*а* — общий вид, *б* — сечение 1–1, *в* — сечение 2–2: 1 — металлические колонны; 2 — фермы покрытия; 3 — подкрановые балки; 4 — вертикальные связи; 5 — плиты покрытия; 6 — стеновые панели; 7 — швы омоноличивания; 8 — опорные ребра; 9 — сварные швы; 10 — верхний пояс стропильных ферм; 11 — соединительные накладки

При этом:

- швы между плитами покрытия замоноличены бетоном класса В30 и выше;
- опорные поперечные ребра плит, обладающие увеличенной несущей способностью, прикреплены расчетными сварными швами к поясам ферм покрытия;
- швы между панелями стен также замоноличены бетоном класса В30 и выше;
- опорные поперечные ребра панелей, имеющие увеличенную несущую способность, прикреплены расчетными сварными швами к поверхностям ступенчатых колонн.

Кроме того, железобетонные стеновые панели жестко связаны между собой на колоннах расчетными сварными швами через закладные детали с использованием накладок.

В предложенном конструктивном решении железобетонные плиты покрытия включаются в совместную работу на сжатие с верхним поясом стальных ферм покрытия. Это обеспечивает:

- повышение вертикальной и горизонтальной жесткости покрытия при действии расчетных нагрузок и воздействий;
- снижение нормальных усилий в поясах ферм покрытия, что ведет к уменьшению расхода стали в элементах каркаса одноэтажного производственного здания.

Аналогичным образом железобетонные панели стен включаются в совместную работу на сжатие со стальными колоннами каркаса. Данный подход позволяет:

- увеличить вертикальную и горизонтальную жесткость колонн при действии расчетных нагрузок и воздействий;
- снизить нормальные усилия в колоннах, что также способствует уменьшению расхода стали в элементах каркаса одноэтажного производственного здания.

Жесткое соединение железобетонных стеновых панелей с колоннами каркаса увеличивает

горизонтальную жесткость колонн при действии расчетных нагрузок и воздействий, уменьшает изгибные усилия в колоннах, что приводит к уменьшению расхода стали на элементы каркаса одноэтажного производственного здания.

Повышенная несущая способность опорных ребер железобетонных плит покрытия и стеновых панелей достигается за счет дополнительного армирования или увеличения размеров их поперечного сечения, что устанавливается расчетом при проектировании.

Для оценки эффективности предлагаемого инновационного конструктивного решения было сформировано 2 варианта поперечных рам каркаса производственного здания:

- металлическая рама со ступенчатыми колоннами и стропильными фермами;
- комбинированная металлическая рама с жестко прикрепленными железобетонными плитами покрытия и стеновыми панелями.

Расчет каркасов был выполнен с привлечением проектно-вычислительного комплекса SCAD Office по действующим нормативным документам для стальных и сталежелезобетонных конструкций [19, 20].

В качестве исходных данных приняты параметры: пролет — 36 м, длина — 76 м, высота — 21 м, шаг колонн — 6 м, мостовой кран — 200 тс, месторасположение — г. Волосово Ленинградской обл.

Колонны каркаса — стальные, ступенчатые, сквозного сечения в подкрановой части (ПЧК),  $h = 1$  м, и сплошного сечения в надкрановой части (НЧК),  $h = 0,5$  м, из прокатных двутавров по ГОСТ Р 57837—2017; стропильные фермы — стальные, трапециевидные с треугольной решеткой, из профильных труб по ГОСТ 32931—2015, высотой на опоре 2,2 м и в середине пролета 3,37 м; нижний пояс (НПФ) — из квадратной трубы, верхний пояс (ВПФ) — из прямоугольной трубы, решетка (РФ) — из квадратных труб.

Во 2-м варианте каркаса в расчетной схеме, помимо металлических элементов, заданы железобетонные ребра плит покрытия и стеновых панелей, жестко прикрепленные к поверхностям верхних поясов стропильных ферм и колонн соответственно (рис. 1), то есть конструкция рассматривается как сталебетонная. Железобетонные плиты при этом могут быть применены типовыми по известным сериям, а жесткое прикрепление плит к фермам обеспечивается сварными швами

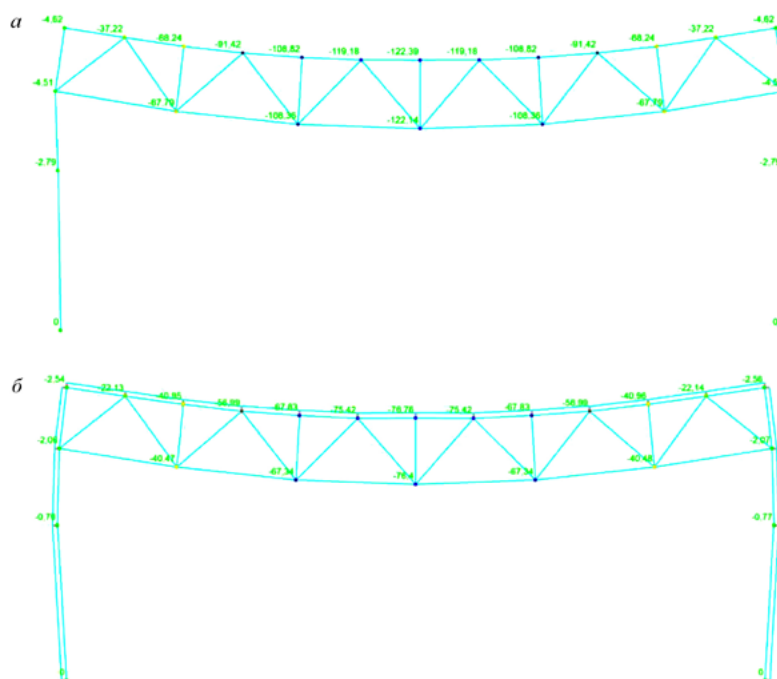
по всем опорным площадкам с последующим моноличиванием швов между плитами (рис. 1).

В результате выполненных расчетов (таблица, рис. 2) выявлено:

- инновационная конструкция металлического каркаса производственного здания по сравнению с традиционными конструкциями металлических каркасов позволяет сэкономить 18 % расхода стали;
- инновационная конструкция металлического каркаса производственного здания по сравнению

Сравнение вариантов рам каркаса одноэтажного промышленного здания

Тип конструкции	Сечения элементов	Расход стали, кг (%)	Примерная стоимость в деле, тыс. руб.	Деформации, мм (%)
Металлическая рама	ВЧК — двутавр 40Ш2, НЧК — 2 двутавра 60Б2, ВПФ — $260 \times 240 \times 6$ мм, НПФ — $200 \times 7$ мм, РФ — $180 \times 7$ и $140 \times 5$ мм	200	442 (100)	122 (100)
Комбинированная рама	ВЧК — двутавр 40Ш1, НЧК — 2 двутавра 60Б2, ВПФ — $140 \times 100 \times 5$ мм, НПФ — $180 \times 7$ мм, РФ — $180 \times 6$ и $140 \times 5$ мм	65	343 (75)	79 (65)



**Рис. 2.** Деформированные схемы поперечных рам каркасов производственного здания от комбинации приложенных нагрузок, мм:

*a* — металлическая рама, *б* — комбинированная металлическая рама

с традиционными конструкциями металлических каркасов имеет на 25 % более низкую стоимость;

– инновационная конструкция металлического каркаса производственного здания по сравнению с традиционными конструкциями металлических каркасов обладает на 35 % более высокой жесткостью;

– инновационная конструкция металлического каркаса производственного здания по сравнению с традиционными конструкциями металлических каркасов демонстрирует большую стойкость к прогрессирующему обрушению при действии особых нагрузок.

Таким образом, инновационная конструкция каркаса здания приводит к снижению материалоемкости, повышению жесткости и эксплуатационной надежности каркаса одноэтажного промышленного (производственных) здания.

## Заключение

Предложена новая конструкция металлического каркаса производственного здания повышенной жесткости, состоящая из стальных ступенчатых колонн, стальных ферм покрытия, стальных подкрановых балок, системы вертикальных и горизонтальных связей, а также плит покрытия и стеновых панелей.

В качестве инновации предложены железобетонные плиты покрытия, жестко прикрепленные к верхним поясам ферм, и железобетонные стеновые панели, жестко прикрепленные к наружным поверхностям колонн каркаса.

Выполнен расчет нескольких вариантов каркаса производственного здания, установлена величина снижения веса конструкции, ее стоимости, повышения жесткости инновационного конструктивного решения.

Подтверждены основные преимущества комбинированных сталебетонных конструкций в каркасах одноэтажных промышленных зданий.

Инновационная конструкция каркаса имеет более низкий вес на 18 % при снижении стоимости на 25 % и повышении жесткости на 35 % в сравнении с традиционными конструкциями металлических каркасов.

Предлагаемая конструкция каркаса может быть эффективна в промышленных (производственных) зданиях с большими пролетами, в том числе на транспорте.

## Список источников

1. Веселов В. В. Проблемы расчетов строительных конструкций с применением программных комплексов / В. В. Веселов // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: материалы X научно-практической конференции, 10–11 октября 2019 года / под ред. А. В. Улыбина. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2019. — С. 22–27.
2. Веселов В. В. Повреждаемость и резервы несущей способности каркасов промышленных зданий / В. В. Веселов, М. С. Абу-Хасан // БСТ: Бюллетень строительной техники. — 2022. — № 3(1051). — С. 56–58.
3. Веселов В. В. Безопасная эксплуатация зданий и сооружений на транспорте / В. В. Веселов // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2023. — Т. 20. — № 1. — С. 161–171. — DOI: 10.20295/1815-588X-2023-1-161-171.
4. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения.
5. Веселов В. В. Инновационное проектирование зданий и сооружений с учетом особых нагрузок и воздействий / В. В. Веселов, Ю. Е. Супонева // Инновационные технологии в строительстве и геоэкологии: материалы конференции. — 2018. — С. 74–77.
6. Веселов В. В. Проектирование покрытий одноэтажных зданий с применением сталежелезобетонных конструкций / В. В. Веселов, Ю. С. Козуб // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сборник трудов LXXIX Всероссийской научно-технической конференции сту-

дентов, аспирантов и молодых ученых. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019. — С. 165–169.

7. Талантова К. В. Совершенствование структурных покрытий общественных зданий / К. В. Талантова, А. С. Фисенко // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2022. — № 5(761). — С. 31–40. — DOI: 10.32683/0536-1052-2022-761-5-31-40.

8. Опанасенко Е. В. Эффективность применения сталебетонных конструкций в каркасах промышленных зданий / Е. В. Опанасенко // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. — 2013. — Т. 3. — С. 355–360.

9. Проектирование мероприятий по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения: методическое пособие. — М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2018.

10. Патент № 2401364 С2 Российская Федерация, МПК E04B 1/00. Конструктивные средства увеличения пространственной жесткости одноэтажных промышленных зданий с мостовыми кранами: № 2008130209/03: заявл. 21.07.2008: опубл. 10.10.2010 / Т. В. Золина, А. И. Сапожников; заявитель: Областное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Астраханский инженерно-строительный институт» (АИСИ).

11. Веселов В. В. Несущая способность стальных стропильных ферм эксплуатируемых промышленных зданий / В. В. Веселов // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций: материалы XVII научно-методической конференции ВИТУ, Санкт-Петербург, 21 марта 2013 года. — СПб.: Военный инженерно-технический университет, 2013. — С. 94–97.

12. Патент на полезную модель № 170094 U1 Российская Федерация, МПК B66C 6/00. Подкрановая балка: № 2016140914: заявл. 18.10.2016: опубл. 13.04.2017 / В. В. Веселов; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

13. Патент № 2627810 С1 Российская Федерация, МПК E04C 3/293, E04C 3/07, E04B 1/30. Сталебетонная балка: № 2016119481: заявл. 19.05.2016: опубл. 11.08.2017 / В. В. Егоров, В. В. Веселов; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

14. Патент на полезную модель № 182163 U1 Российская Федерация, МПК E04C 3/293. Сталебетонная ферма: № 2018117051: заявл. 07.05.2018: опубл. 06.08.2018 / В. В. Веселов; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

15. Патент на полезную модель № 192327 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/24, E04B 1/32. Каркас арочного здания: № 2019117818: заявл. 07.06.2019: опубл. 12.09.2019 / В. В. Веселов, Ю. С. Козуб; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

16. Патент № 2753878 С1 Российская Федерация, МПК E04C 3/34. Ступенчатая колонна: № 2020141271: заявл. 14.12.2020: опубл. 24.08.2021 / В. В. Веселов, О. А. Бакина; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

17. Патент № 2840108 С1 Российская Федерация, МПК E04B 1/30. Каркас одноэтажного здания повышенной стойкости к прогрессирующему обрушению: № 2024125684: заявл. 18.07.2024: опубл. 19.05.2025 / В. В. Веселов, А. Н. Журавлева, А. А. Калинин; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

18. Патент № 2836447 С1 Российская Федерация, МПК E04B 1/00. Каркас одноэтажного промышленного

здания повышенной жесткости: № 2023136154: заявл. 29.12.2023; опубл. 17.03.2025 / В. В. Веселов, Г. М. Кондуков; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

19. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23—81 (с поправкой, с изменением № 1).

20. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования.

Дата поступления: 15.09.2025

Решение о публикации: 19.10.2025

#### Контактная информация:

ВЕСЕЛОВ Виталий Владиславович — канд. техн. наук, доц.; veselov.1977@inbox.ru

## Innovative Designs of Industrial Building Frames

V. V. Veselov

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Veselov V. V. Innovative Designs of Industrial Building Frames // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 4, pp. 1025–1034. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-4-1025-1034

### Summary

**Purpose:** To analyze the use of steel-concrete composite structures in single-storey industrial building frames, including those related to transport. To explore potential reductions in material consumption and overall costs associated with the proposed innovative composite building frame design, while enhancing rigidity and reliability. **Methods:** Analysis of established design solutions for composite structures and calculation of various frame options using calculation software packages in accordance with current methodologies. **Results:** Conventional industrial building frames that utilize metal structures do not consistently provide adequate rigidity or resistance to progressive collapse. They are susceptible to various forms of damage from force and mechanical stress, as well as specific loads and effects, particularly in transportation context. Typically, frames for industrial buildings with large spans require additional structural measures to mitigate the risk of progressive collapse. The Department of “Building Structures, Buildings, and Constructions” at SPTU (Petersburg State Transport University) is engaged in the development of advanced structural solutions for building frames and their components characterized by enhanced rigidity, load-bearing capacity, and reliability. An innovative design for a highly rigid industrial building has been proposed, which includes columns, roof trusses, gantry beams, as well as a bracing system, roofing, and wall panels. The roofing is constructed from ribbed reinforced concrete slabs with monolithic concrete joints, with the supporting transverse ribs rigidly connected to the upper chord of the roof trusses through welded joints. The wall panels are made of reinforced concrete slabs with monolithic concrete joints, where the supporting transverse ribs are securely welded to the outer surface of the columns. Several options for an industrial building frame have been calculated, establishing the reduction in the weight of the structure, its cost, and the increase in the rigidity of the innovative design. **Practical significance:** The primary advantages of steel-concrete composite frame structures in single-storey industrial buildings have been evaluated. The innovative frame design demonstrates a weight reduction of 18%, a cost decrease of 25%, and a rigidity increase of 35% compared to traditional metal frame designs. The proposed frame design may prove to be effective in industrial buildings with large spans, as well as on transportation facilities.

**Keywords:** Single-storey buildings, industrial buildings, frame, metal structures, composite structures, steel concrete, specific loads, bearing capacity, rigidity, progressive collapse.



## References

1. Veselov V. V. Problemy raschetov stroitel'nykh konstruktsey s primeneniem programmnykh kompleksov [Problems of structural calculations using software complexes]. *Obsledovanie zdaniy i sooruzheniy: problemy i puti ikh resheniya: materialy X nauchno-prakticheskoy konferentsii, 10–11 oktyabrya 2019 goda* [Inspection of buildings and structures: problems and solutions: proceedings of the X scientific-practical conference, October 10–11, 2019]. Saint Petersburg: Politekhnikheskiy Universitet Publ., 2019, pp. 22–27. (In Russian)
2. Veselov V. V., Abu-Khasan M. S. Povrezhdaemost' i rezervy nesushchey sposobnosti karkasov promyshlennykh zdaniy [Damageability and reserves of load-bearing capacity of industrial building frames]. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki* [BST: Bulletin of Building Machinery]. 2022, Iss. 3(1051), pp. 56–58. (In Russian)
3. Veselov V. V. Bezopasnaya ekspluatatsiya zdaniy i sooruzheniy na transporte [Safe operation of buildings and structures in transport]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2023, vol. 20, Iss. 1, pp. 161–171. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-1-161-171. (In Russian)
4. SP 385.1325800.2018. Zashchita zdaniy i sooruzheniy ot progressiruyushchego obrusheniya. Pravila proektirovaniya. Osnovnye polozheniya [Protection of buildings and structures against progressive collapse. Design rules. Main provisions]. (In Russian)
5. Veselov V. V., Suponeva Yu. E. Innovatsionnoe proektirovanie zdaniy i sooruzheniy s uchetom osobykh nagruzok i vozdeystviy [Innovative design of buildings and structures considering special loads and impacts]. *Innovatsionnye tekhnologii v stroitel'stve i geoekologii: materialy konferentsii* [Innovative technologies in construction and geoecology: conference proceedings]. 2018, pp. 74–77. (In Russian)
6. Veselov V. V., Kozub Yu. S. Proektirovanie pokrytiy odnoetazhnykh zdaniy s primeneniem stalezhelezobetonnykh konstruktsey [Design of roofs for single-storey buildings using steel-reinforced concrete structures]. *Transport: problema, idei, perspektivy: sbornik trudov LXXIX Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh* [Transport: problems, ideas, prospects: proceedings of the LXXIX All-Russian scientific-technical conference of students, postgraduates and young scientists]. Saint Petersburg: FGBOU VO PGUPS Publ., 2019, pp. 165–169. (In Russian)
7. Talantova K. V., Fisenko A. S. Sovershenstvovanie strukturnykh pokrytiy obshchestvennykh zdaniy [Improvement of structural roofs of public buildings]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Construction]. 2022, Iss. 5(761), pp. 31–40. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-761-5-31-40. (In Russian)
8. Opanasenko E. V. Effektivnost' primeneniya stalebetonnykh konstruktsey v karkasakh promyshlennykh zdaniy [Efficiency of using steel-concrete structures in industrial building frames]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse* [Modernization and research in the transport complex]. 2013, vol. 3, pp. 355–360. (In Russian)
9. Proektirovanie meropriyatiy po zashchite zdaniy i sooruzheniy ot progressiruyushchego obrusheniya: metodicheskoe posobie [Design of measures for protecting buildings and structures against progressive collapse: methodological guide]. Moscow: Ministerstvo stroitel'stva i zhilishchno kommunal'nogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii Publ., 2018. (In Russian)
10. Zolina T. V., Sapozhnikov A. I. Konstruktivnye sredstva uvelicheniya prostranstvennoy zhestkosti odnoetazhnykh promyshlennykh zdaniy s mostovymi kranami [Structural means for increasing spatial rigidity of single-storey industrial buildings with overhead cranes]. Patent RF, no. 2401364, 2010. (In Russian)
11. Veselov V. V. Nesushchaya sposobnost' stal'nykh stropil'nykh ferm ekspluatiruemykh promyshlennykh zdaniy [Load-bearing capacity of steel trusses of operated industrial buildings]. *Defekty zdaniy i sooruzheniy. Usilenie stroitel'nykh konstruktsey: materialy XVII nauchno-metodicheskoy konferentsii VITU, Sankt-Peterburg, 21 marta 2013 goda* [Defects of buildings and structures. Strengthening of building structures: proceedings of the XVII scientific-methodological conference of VITU, Saint Petersburg, March 21,

2013]. Saint Petersburg: Voennoy inzhenerno-tekhnicheskiy universitet Publ., 2013, pp. 94–97. (In Russian)

12. Veselov V. V. *Podkranovaya balka* [Crane runway beam]. Patent RF, no. 170094, 2017. (In Russian)

13. Egorov V. V., Veselov V. V. *Stal'betonnaya balka* [Steel-concrete beam]. Patent RF, no. 2627810, 2017. (In Russian)

14. Veselov V. V. *Stal'betonnaya ferma* [Steel-concrete truss]. Patent RF, no. 182163, 2018. (In Russian)

15. Veselov V. V., Kozub Yu. S. *Karkas arochnogo zdaniya* [Arch building frame]. Patent RF, no. 192327, 2019. (In Russian)

16. Veselov V. V., Bakina O. A. *Stupenchataya kolonna* [Stepped column]. Patent RF, no. 2753878, 2021. (In Russian)

17. Veselov V. V., Zhuravleva A. N., Kalinin A. A. *Karkas odnoetazhnogo zdaniya povyshennoy stoykosti k progressiruyushchemu obrusheniyu* [Frame of a single-storey building with increased resistance to progressive collapse]. Patent RF, no. 2840108, 2025. (In Russian)

18. Veselov V. V., Kondukov G. M. *Karkas odnoetazhnogo promyshlennogo zdaniya povyshennoy zhestkosti* [Frame of a single-storey industrial building with increased rigidity]. Patent RF, no. 2836447, 2025. (In Russian)

19. *SP 16.13330.2017. Stal'nye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP II-23—81 (s popravkoy, s izmeneniyem № 1)* [Steel structures. Updated version of SNIIP II-23—81 (with amendment, change № 1)]. (In Russian)

20. *SP 266.1325800.2016. Konstruksii stalezhelezobetonnnye. Pravila proektirovaniya* [Steel-reinforced concrete structures. Design rules]. (In Russian)

Received: September 15, 2025

Accepted: October 19, 2025

#### Author's information:

Vitaliy V. VESELOV — PhD in Engineering, Associate Professor; veselov.1977@inbox.ru