

УДК 624.012

Мирсаяпов Илшат Талгатович

доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapovit@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Ахметзянов Данис Раилевич

инженер

E-mail: danis2803@mail.ru

ООО «Современные технологии управления»

Адрес организации: 420005, Россия, г. Казань, ул. Гагарина, д. 87/68

Применение шага колонн 18 м в железобетонных каркасах и оценка эффективности применения высокопрочного бетона в каркасах одноэтажных промышленных зданий с различной сеткой колонн

Аннотация

Постановка задачи. В статье впервые рассматривается возможность применения шага колонн 18 м в железобетонном каркасе одноэтажного промышленного здания, что не характерно для железобетонных конструкций. Цель исследования – выявить и оценить экономическую целесообразность применения высокопрочных бетонов в каркасах одноэтажных промышленных зданий при различных сетках колонн. Для оценки эффективности применения бетонов высокой прочности рассматриваются несущие конструкции каркасов с различными объемно-планировочными и конструктивными решениями.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в подтверждении гипотезы об эффективности применения высокопрочного бетона в конструкциях одноэтажного промышленного здания. Выполнены статические расчеты и расчеты основных конструкций здания для температурных блоков различных вариаций. Для каждой конструкции выполнен расчет, как для обычного бетона, так и для высокопрочного. Рассматривая каркасы температурного блока с одинаковой площадью, но с различными шагами колонн, выполнен сравнительный анализ и технико-экономическое обоснование.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в подтверждении эффективности применения высокопрочного бетона в несущих конструкциях каркасов промышленных зданий. Применение бетонов высокой прочности позволяет снизить расход основных материалов, вес конструкций и общую стоимость каркаса.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, одноэтажное промышленное здание, каркас, класс бетона В100, шаг колонн, несущие конструкции.

Введение

Применение песчаного бетона, в том числе и высокопрочного, – одно из наиболее перспективных направлений для Республики Татарстан, где отсутствуют крупные залежения щебня. Использование бетонов высокой прочности позволяет не только увеличить прочность и несущую способность основных несущих конструкций, но и уменьшить их габариты, собственный вес, расход материалов – бетона и дорогостоящей арматуры.

В различных научных источниках мнения о разграничении высокопрочных и обычных бетонов расходятся. Так, например, существует две точки зрения, какие бетоны следует называть высокопрочными: 1) Высокопрочными следует называть бетон, предел прочности которого больше, чем у применяемого в нем цемента; 2) Высокопрочный бетон – бетон, прочность которого превышает принятые в действующих нормативных документах [1]. Высокопрочным является бетон, класс прочности которого при сжатии \geq В55.

На кафедре ТСМИК КГАСУ разработаны составы мелкозернистых бетонов высоких марок (М1000 и более) на базе фракционных песков месторождений р. Камы, р. Волги и р. Вятки [2]. Данные разработки позволяют уменьшить себестоимость бетона

как строительного материала. Строительство из таких бетонов имеет большой экономический потенциал.

В работах [3-11] рассмотрена целесообразность применения высокопрочного бетона в конструкциях различных зданий и сооружений. Анализируя результаты работ авторов, исследовавших данную проблему, можно сделать вывод о том, что конструктивные решения с использованием бетонов высокой прочности, позволяют снизить общий вес элементов, уменьшить расход основных материалов, увеличить несущую способность и жесткость конструкций.

Таким образом, вопрос об эффективности применения высокопрочных бетонов в каркасах одноэтажных промышленных зданий является актуальным.

Общий план исследований

В исследовании рассматривается один температурный блок промышленного сооружения. Для оценки экономического эффекта рассчитаны каркасы в трех различных вариациях: шаг колонн в продольном направлении 12 м, пролет стропильной конструкции – 24 м с подстропильными и без применения подстропильных ферм; шаг колонн – 18 м с применением подстропильных ферм (рис. 1-3).

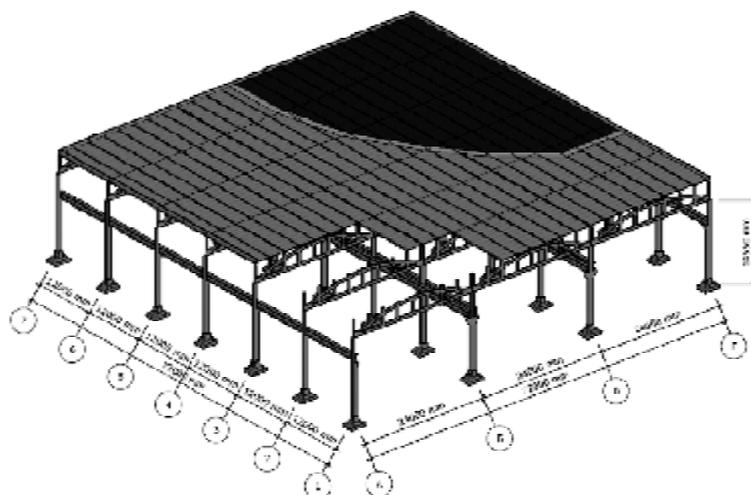


Рис. 1. Вариант каркаса одноэтажного промышленного здания с шагом колонн в продольном направлении – 12 м (иллюстрация авторов)

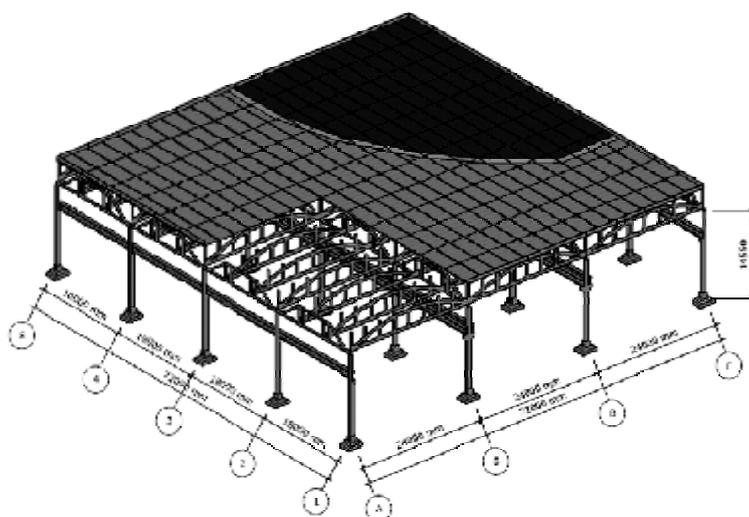


Рис. 2. Вариант каркаса одноэтажного промышленного здания с шагом колонн в продольном направлении – 12 м с применением подстропильных ферм (иллюстрация авторов)

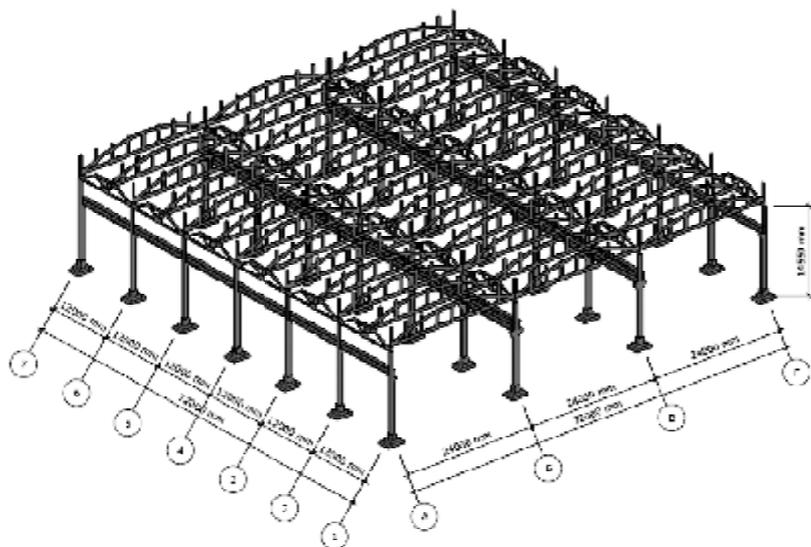


Рис. 3. Вариант каркаса одноэтажного промышленного здания с шагом колонн в продольном направлении – 18 м с применением подстропильных ферм (иллюстрация авторов)

Во всех трех вариантах площадь помещения одинаковая, габариты температурного блока – 72×72 м. Большой шаг колонн, как в крайних, так и в средних рядах, позволяет получить гибкую планировку, увеличить полезную площадь помещения, уменьшить общее количество монтируемых элементов. Каркас с шагом колонн в продольном направлении 18 м является экспериментальным. В данном случае рассмотрены подстропильные фермы пролетом 18 м, которые отсутствуют в типовых сериях, а также железобетонные подкрановые балки пролетом 18 м, которые не выполняются в железобетонном исполнении.

Для всех трех вариантов каркаса выполнен сбор нагрузок, выполнены статические расчеты поперечных рам, стропильных конструкций и подстропильных ферм. Реализованный в программном комплексе ЛИРА-САПР метод конечных элементов позволил определить усилия для расчета элементов каркаса. Выполнены расчеты основных несущих конструкций каркасов одноэтажных промышленных зданий (ОПЗ), подобрана рабочая и поперечная арматура, сконструированы сечения элементов.

Стропильные конструкции

В статье «Оценка эффективности применения высокопрочного бетона в стропильных конструкциях одноэтажных промышленных зданий» Мирсаяпова Ил. Т. и Ахметзянова Д. Р. было подробно рассмотрено экономическое обоснование применения высокопрочного бетона в различных стропильных конструкциях ОПЗ. Согласно результатам, полученным в предыдущем исследовании, можно сделать вывод о том, что наиболее целесообразными с точки зрения экономии материалов являются фермы с шагом 6 м и 12 м. Эти стропильные конструкции использованы в каркасах, указанных на рис. 1-3. Применение бетона класса В100, по сравнению с обычным бетоном класса В30, позволило сократить объем бетона на 32-47 %, расход арматуры – на 30-42 %. Подсчитана общая стоимость стропильных конструкций на один температурный блок при различном шаге ферм. Наибольшая экономия, при использовании бетонов высокой прочности, по сравнению с обычными бетонами, наблюдается при шаге стропильных конструкций – 6 м и пролете – 24 м. Это достигается за счет меньших нагрузок, приходящихся на узлы фермы. Общая экономия для данного случая составила 717 837,12 руб. или 34,1 %, по сравнению с фермами, выполненными из класса бетона В30.

Подстропильные фермы

Применение высокопрочного бетона в подстропильных фермах позволило уменьшить сечение элементов фермы, что снизило расход бетона на 54 % для фермы

пролетом 18 м и на 55 % для ферм пролетом 12 м. Кроме того, удалось снизить расход арматуры на 46 % и 15,5 %, для ферм пролетом 18 м и 12 м соответственно. Сравнительный анализ экономии расхода бетона представлен в табл. 1.

Таблица 1

Расход бетона подстропильных ферм

Ферма	Бетон В30							Бетон В100 (на песчаном заполнителе)							Экономия	
	Сечение элементов, м						Объем бетона м ³	Сечение элементов, м						Объем бетона м ³		
	Нижний пояс		Верхний пояс		Стойки			Нижний пояс		Верхний пояс		Стойки				
	b	h	b	h	b	h		b	h	b	h	b	h			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Пролет 18 м	0,28	0,46	0,28	0,42	0,28	0,35	6,45	0,20	0,25	0,20	0,25	0,20	0,25	2,98	3,47	53,8
Пролет 12 м	0,28	0,46	0,28	0,42	0,28	0,42	3,85	0,20	0,25	0,20	0,25	0,20	0,25	1,73	2,12	55,06

Наибольший экономический эффект наблюдается в подстропильных фермах пролетом 18 м. Общая стоимость конструкций на один температурный блок ферм пролетом 18 м больше стоимости ферм пролетом 12 м, что связано большим расходом материалов.

Общая стоимость конструкций подстропильных ферм, выполненных из высокопрочного бетона, снизилась на 35 % для ферм пролетом 12 м, и на 46 % для ферм пролетом 18 м.

Крайние и средние колонны

Применение высокопрочного бетона в колоннах каркаса ОПЗ позволило сократить расход бетона на 30-41 % при различных шагах поперечных рам (табл. 2), уменьшить расход арматуры на 26-38 %. Посчитана общая стоимость конструкций для различных объемно-планировочных решений, выявлена общая экономия. Общая экономия при шаге колонн – 12 м, составила 354 795,63 руб. или 30,4 %. При шаге колонн – 18 м, экономический эффект достиг – 286 463,00 руб. или 31,34 %.

Таблица 2

Расход бетона крайних и средних колонн

Элемент	Объема бетона		Экономия, м ³	Экономия, %
	В30	В100		
Крайняя колонна, при шаге 12 м	6,03	3,55	2,48	41,10
Средняя колонна, при шаге 12 м	6,41	4,37	2,04	31,88
Крайняя колонна, при шаге 18 м	6,50	4,02	2,47	38,08
Средняя колонна, при шаге 18 м	6,87	4,82	2,05	29,84

Подкрановые балки

При расчете подкрановых балок, выполненных из высокопрочного бетона, не изменялось сечение конструкции. Несмотря на более дорогой бетон, планировалось получить экономический эффект за счет снижения расхода арматуры.

Для подкрановой балки пролетом 12 м, объем бетона конструкций, выполненных, как из обычного, так и из высокопрочного бетона, равен 4,1 м³. Расход арматуры для подкрановой балки из обычного бетона равен 490,85 кг, что близко к значениям, указанным в сериях для данной конструкции. Расход арматуры для балки, выполненной из высокопрочного бетона, составил 440,62 кг. Общая стоимость балки из обычного бетона – 38 736,55 руб.; балки из высокопрочного бетона – 40 082,16 руб. Таким образом,

применение высокопрочного бетона в подкрановых балках пролетом 12 м, нецелесообразно, ввиду большей стоимости высокопрочного бетона.

Так как железобетонные подкрановые балки применяются при шагах колонн 6 м и 12 м, а при шаге колонн 18 м используются, как правило, стальные подкрановые балки, принято решение проанализировать возможность использования подкрановых балок пролетом 18 м, выполненных из высокопрочного бетона. Анализируя результаты расчета подкрановой балки пролетом 18 м, можно сделать следующие вывод, что в балке, выполненной из обычного бетона класса В30 появляется большой расход сжатой арматуры, который отсутствует в балке пролетом 12 м. Требуемая площадь преднапрягаемой арматуры – 8417,63 мм², что равно семи стержням, диаметром 40. Такой перерасход сечения нецелесообразен и невозможен ввиду переармированности сечения.

Применение высокопрочного бетона в подкрановых балках пролетом 18 м позволило сократить сжатую арматуру (ставится конструктивно, и принимается 2 Ø10) и уменьшить площадь напрягаемой арматуры. Экономия, по сравнению с балкой, выполненной из обычного бетона, составила порядка 46 тыс. руб.

Таким образом, использование высокопрочного бетона позволяет выполнять подкрановые балки пролетом 18 м в железобетонном исполнении.

Технико-экономическое сравнение каркасов с различными конструктивными и объемно-планировочными решениями

Для того, чтобы выявить наибольший экономический эффект от применения высокопрочного бетона в несущих конструкциях одноэтажного промышленного здания, необходимо провести сравнительные анализы по следующим направлениям:

1. Выявить экономию от расхода материала и стоимости конструкций от применения высокопрочного бетона. Сравнить один и тот же каркас для различных классов бетона;
2. Провести сравнение между каркасом: «Шаг колонн в продольном направлении – 12 м с применением подстропильных ферм» (рис. 2), с каркасом: «Шаг колонн в продольном направлении – 12 м с использованием фахверковых колонн в продольном направлении» (рис. 1);
3. Сравнить каркас с шагом колонн 12 м с каркасом, где шаг колонн – 18 м (рис. 3).

Температурный блок с габаритами 72×72 м, шаг колонн 12 м. На основе результатов, полученных в исследовании, подсчитывается общая стоимость несущих конструкций на один температурный блок. Фахверковые колонны приняты согласно типовой серии 1.030.9-2 выпуск 5. Приняты колонны марки КБ-80-2. Общая стоимость конструкций, выполненных из обычного бетона составила 3 500 368,67 руб., в то время, как стоимость конструкций, выполненных из высокопрочного бетона составила 2 560 825,12 руб. Экономия в данном случае составила 939 543,53 руб. или 26,8 %. Наглядно экономия от применения высокопрочного бетона представлена на рис. 4.

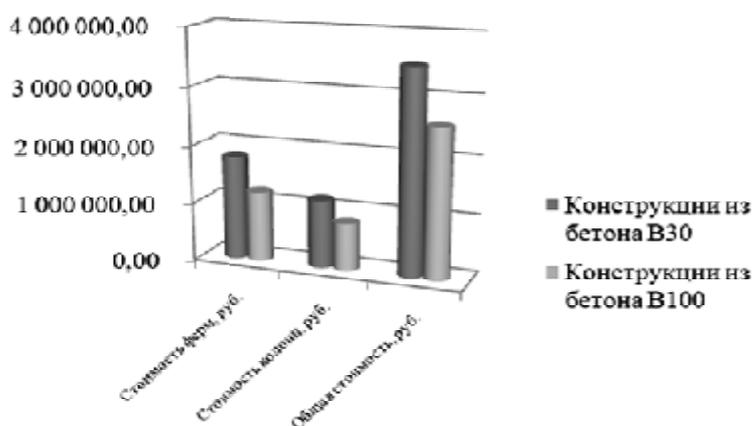


Рис. 4. Диаграмма сравнения стоимости конструкций, выполненных из различных классов бетона для каркаса с шагом колонн –12 м (иллюстрация авторов)

Температурный блок с габаритами 72×72 м, шаг колонн 12 м с применением подстропильных ферм. В данном каркасе, по сравнению с предыдущим, добавляются подстропильные фермы, которые позволяют исключить фахверковые колонны в продольном направлении.

Общая стоимость конструкций, выполненных из бетона класса В30, равна 4 140 040,58 руб., конструкций, выполненных из класса бетона В100 – 2 847 093,34 руб. Экономия составила 1 292 947,24 руб. или 31,23 %. Сравнительная диаграмма представлена на рис. 5.

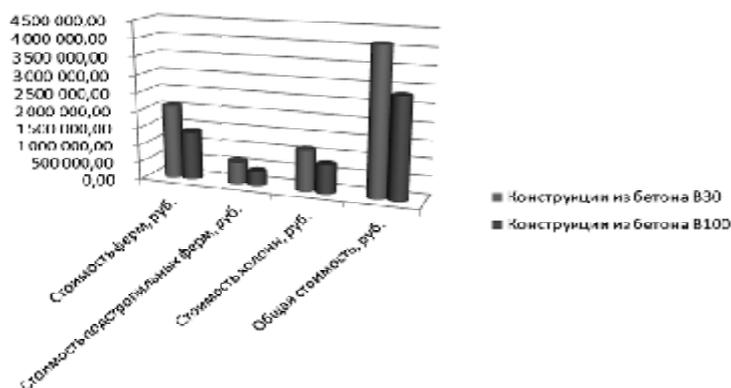


Рис. 5. Диаграмма сравнения стоимости конструкций, выполненных из различных классов бетона для каркаса с шагом колонн – 12 м, с применением подстропильных ферм (иллюстрация авторов)

Несмотря на уменьшение стоимости стропильных конструкций, при применении в каркасе подстропильных ферм, ввиду уменьшения шага стропильных ферм и соответственно нагрузок на них, в данном случае наблюдается общее удорожание стоимости конструкций на 640 000 руб., для конструкций из обычного бетона и на 286 268 руб. для конструкций из высокопрочного бетона. Такое удорожание наблюдается за счет увеличения общего числа стропильных конструкций и добавления таких элементов, как подстропильная ферма. Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее экономический выгодный вариант, из двух рассматриваемых, является температурный блок с габаритами 72×72 м, шаг колонн 12 м, без подстропильных ферм, с использованием фахверковых колонн в продольном направлении.

Температурный блок с габаритами 72×72 м, шаг колонн 18 м с применением подстропильных ферм. Стоимость конструкций, выполненных из обычного тяжелого бетона, равна 4 164 180,38 руб., выполненных из высокопрочного бетона – 2 847 584,05 руб. Экономия составила – 1 316 596,33. или 31,62 %. Сравнительный анализ представлен на рис. 6.

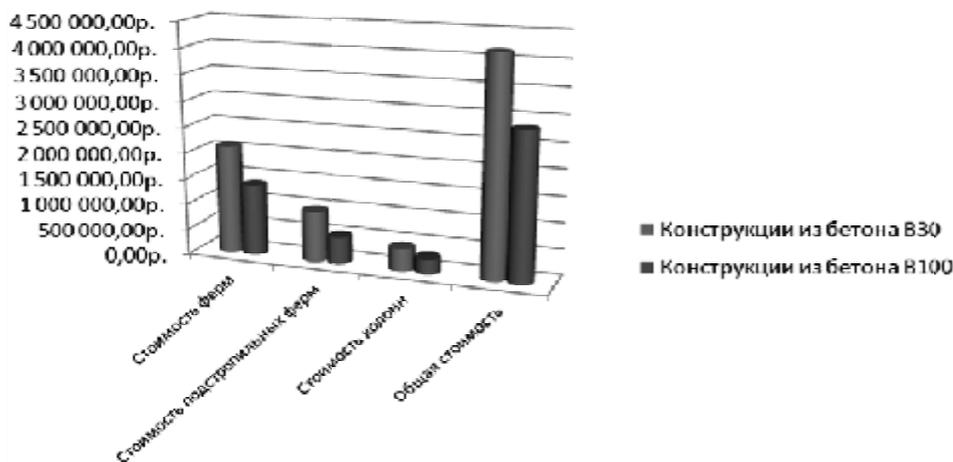


Рис. 6. Диаграмма сравнения стоимости конструкций, выполненных из различных классов бетона для каркаса с шагом колонн –18 м, с применением подстропильных ферм (иллюстрация авторов)

Таким образом, сравнивая конструкции из обычного и высокопрочного бетона, можно сделать вывод о том, что наибольшая экономия достигается в каркасе с шагом колонн – 18 м, однако, наименьшая общая стоимость конструкций наблюдается в каркасе с шагом колонн – 12 м, без применения подстропильных ферм.

Заключение

В данном исследовании подтверждена гипотеза об эффективности применения высокопрочного бетона в конструкциях ОПЗ.

Для стропильных конструкций наибольший экономический эффект наблюдается в каркасах при шаге ферм, равном 6 м. Экономия в данном случае составила 717 837 руб. или 34,1 %, по сравнению с фермами, выполненными из бетона класса бетона В30.

Экономический эффект достигнут благодаря уменьшению габаритов сечений фермы и уменьшению расхода арматуры. В подстропильных фермах применение бетона класса В100 позволило уменьшить расход, как бетона, так и стали, а также снизить общую стоимость конструкций на 35 % для подстропильных ферм пролетом 12 м, и на 46 % для ферм пролетом 18 м. В колоннах снижается расход бетона на 30-41 % и арматуры на 26-38 %. Общая стоимость колонн уменьшается на 30-32 %. В подкрановых балках пролетом 12 м применение высокопрочного бетона нерационально, ввиду большей стоимости высокопрочного бетона. Однако в подкрановых балках, пролетом 18 м, наблюдается экономический эффект от применения бетона класса В100.

Рассматривая каркасы температурного блока с одинаковой площадью, но с различными шагами колонн в продольном направлении, можно сделать ряд заключений: наименьшая стоимость конструкций наблюдается при шаге колонн 12 м, без подстропильных ферм, наибольшая экономия при использовании бетонов высокой прочности, по сравнению с обычными бетонами, наблюдается в каркасах с шагом колонн 18 м.

Применение высокопрочного бетона позволяет сократить общую стоимость конструкций от 939 543 руб. до 1 316 596,33 руб., в зависимости от объемно-планировочных решений каркаса. Экономический эффект для одного температурного блока одноэтажного промышленного здания составляет 27-32 %.

Список библиографических ссылок

1. Берг О. Я., Щербаков Е. Н., Писанко Г. Н. Высокопрочный бетон. М. : Издательство литературы по строительству, 1971. С. 192–195.
2. Хозин В. Г., Никитин Г. П. Татарский монолит потяжелеет // Строительство. 2017. № 12. С. 44–46.
3. Кучук Е. В. Высокопрочный бетон, проблемы и задачи : сб. ст. VII студенческой научно-технической конференции / БНТУ. Минск, 2015. С. 27–32.
4. Красникова Н. М., Морозов Н. М., Боровских И. В., Хозин В. Г. Опыт внедрения мелкозернистых бетонов при производстве дорожных плит // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 7. С. 46–54.
5. Мкртчян А. М., Аксенов В. Н., Маилян Д. Р., Блягоз А. М., Сморгунова М. В. Особенности конструктивных свойств высокопрочных бетонов // Новые технологии. 2013. № 3. С. 135–143.
6. Мещерин В. С. Высокопрочные и сверхпрочные бетоны: технологии производства и сферы применения // СтройПРОФИль. 2008. № 8 (70). С. 32–35.
7. Аналитическое описание диаграммы деформирования высокопрочных бетонов // IVDON.RU : ежедн. интернет-изд. 2013. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1818> (дата обращения 11.04.2019).
8. Kovačević I., Džidić S., High-strength concrete (HSC) material for high-rise buildings // 12th Scientific Research Symposium with International Participation «Metallic and Nonmetallic Materials: production-properties-application». 2018. № 12. P. 214–223.
9. Abid F., Patil R. C. Development of High Performance Concrete // International Journal of Trend in Scientific Research and Development. 2018. № 2. P. 1465–1479.

10. Sohoni V., Jain S., Bajaj S., Shekar H., Kumar Verma S. High Performance Concrete // International Journal for Innovative Research in Science & Technology. 2017. Vol. 4. № 1. P. 27–35.
11. Choi E. S., Lee J. W., Kim S. J., Kwark J. W. A Study on the Bond Strength between High Performance Concrete and Reinforcing Bar // Engineering. 2015. Vol. 7. № 7. P. 373–378.

Mirsayapov Ilshat Talgatovich

doctor of technical science, professor

E-mail: mirsayapovit@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Akhmetzyanov Danis Railevich

engineer

E-mail: danis2803@mail.ru

LTD «Modern technologies of management»

The organization address: 420005 Russia, Kazan, Gagarin st., 87/68

The use of column spacing of 18 m in reinforced concrete frames and evaluation of the effectiveness of high-strength concrete in frames of one-storey industrial buildings with different grid columns

Abstract

Problem statement. The article for the first time considers the possibility of using the step of 18 m columns in the reinforced concrete frame of a single-storey industrial building, which is not typical for reinforced concrete structures. The purpose of the study is to identify and evaluate the economic feasibility of the use of high-strength concrete in frames of one-story industrial buildings with different column grids. There are considered supporting structures of frames with different space-planning and design solutions to assess the effectiveness of the use of high-strength concrete.

Results. The main results of the study are to confirm the hypothesis about the effectiveness of the use of high-strength concrete in the construction of a one-story industrial building. Static calculations and calculations of the basic structures of the building for temperature blocks of various variations are performed. For each construction, the calculation is made, both for ordinary concrete and for high strength. Considering the frameworks of the temperature unit with the same area, but with different pitch of the columns, a comparative analysis and feasibility study were carried out.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is to confirm the effectiveness of the use of high-strength concrete in the supporting structures of frames of industrial buildings. The use of high-strength concrete allows to reduce the consumption of basic materials, the weight of structures and the total cost of the frame.

Keywords: high-strength concrete, one-story industrial building, frame, concrete class B100, column spacing, supporting structures.

References

1. Berg O. Ya., Scherbakov E. N., Pisanko G. N. High-strength concrete. M. : Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, 1971. P. 192–195
2. Khozin V. G., Nikitin G. P. Tatar monolith becomes heavy // Stroitel'stvo. 2017. № 12. P. 44–46.
3. Kuchuk E. V. High-strength concrete, problems and challenges : dig. of art. VII student science conference / BNTU. Minsk, 2015. P. 27–32.

4. Krasinikova N. M., Morozov N. M., Borovskikh I. V., Khozin V. G. Experience of introducing fine-grained concrete in the production of road plates // *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*. 2014. № 7. P. 46–54.
5. Mkrtchyan A. M., Aksenov V. N., Mailyan D. R., Blyagoz A. M., Smorgunova M. V. Features of the structural properties of high strength concrete // *Novye tekhnologii*. 2013. № 3. P. 135–143.
6. Meshcherin V. S. High-strength and heavy duty concretes: production technologies and applications // *StroyPROFIL'*. 2008. № 8 (70). P. 32–35.
7. Analytical description of the high-strength concrete strain diagram // *IVDON.RU : daily internet-edit*. 2013. URL <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1818> (reference date: 11.04.2019).
8. Kovačević I., Džidić S., High-strength concrete (HSC) material for high-rise buildings // 12th Scientific Research Symposium with International Participation «Metallic and Nonmetallic Materials: production-properties-application». 2018. № 12. P. 214–223.
9. Abid F., Patil R. C. Development of High Performance Concrete // *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*. 2018. № 2. P. 1465–1479.
10. Sohoni V., Jain S., Bajaj S., Shekar H., Kumar Verma S. High Performance Concrete // *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*. 2017. Vol. 4. № 1. P. 27–35.
11. Choi E. S., Lee J. W., Kim S. J., Kwark J. W. A Study on the Bond Strength between High Performance Concrete and Reinforcing Bar // *Engineering*. 2015. Vol. 7. № 7. P. 373–378.