Научная статья
Original article
УДК 69

# ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ В КОНСТРУКЦИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

# APPLICATION OF HIGH-STRENGTH CONCRETE IN THE STRUCTURES OF MODERN HIGH-RISE BUILDINGS

**Доствал Гульмат,** Студент факультет (промышленное и гражданское строительство), Донской государственный технический университет (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия
**Хая Вахидулла,** Студент факультет (промышленное и гражданское строительство), Донской государственный технический университет (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия

**Dostval Gulmat,** Faculty student (industrial and civil engineering), Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia
**Haya Wahidullah,** Faculty student (industrial and civil engineering), Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia

**Аннотация.** В статье анализируется применение высокопрочных бетонов в конструкциях современных высотных зданий. Рассматриваются специфика и требования к высотному строительству в городских условиях. Выявляются достоинства высокопрочных бетонов и некоторые сферы их применения. Приводятся особенности состава высокопрочных бетонов, обуславливающие их свойства, и условия получения бетонов повышенных

классов прочности. Отмечается важность соблюдения баланса между показателями прочности, надёжности и долговечности.

**Annotation.** The article analyzes the use of high-strength concretes in the structures of modern high-rise buildings. The specifics and requirements for high-rise construction in urban conditions are considered. The advantages of high-strength concretes and some areas of their application are revealed. The features of the composition of high-strength concretes, which determine their properties, and the conditions for obtaining concretes of increased strength classes are given. The importance of maintaining a balance between indicators of strength, reliability and durability is noted.

**Ключевые слова:** бетон, высокопрочные бетоны, прочность, высотные здания, высотное строительство.

**Key words:** concrete, high-strength concrete, strength, high-rise buildings, high-rise construction.

Многоэтажные и высотные здания являются основным типом зданий при городской застройке [1]. Согласно классификации многоэтажных зданий по критерию возгораемости, к категории высотных зданий причисляются постройки, высота которых превышает 100 м. При конструировании и возведении подобных объектов значимыми факторами являются геометрические размеры, масса и объём конструктивных элементов, от величины которых зависит расход строительных материалов [2]. Для минимизации количества используемых строительных материалов, облегчения строения, сокращения объёма строительно-монтажных работ и увеличения полезной площади помещений на практике используются современные материалы, в число которых входят высокопрочные бетоны. Они обладают рядом существенных преимуществ перед другими стройматериалами, что делает актуальным исследование особенностей их использования при строительстве высотных зданий.

Целью работы является изучение применения высокопрочных бетонов в конструкциях современных высотных зданий. Для её достижения были использованы методы анализа и синтеза научных публикаций и литературных источников по рассматриваемой теме.

Высотное строительство является закономерной тенденцией развития современных мегаполисов, обусловленной нехваткой территорий для нового строительства и значительным ростом населения в экономически развитых городах [3]. Основным преимуществом высотной застройки выступает возможность размещения в составе здания или комплекса больших объёмов помещений и объектов, что благоприятно сказывается на экономической и социальной сферах. Однако высотным зданиям присуща своя специфика, значительно отличающая их от зданий меньшей этажности:

- высокая динамическая и статическая нагрузка на несущие конструкции, включая основание и фундаменты;
- характер приложения и неравномерность распределения нагрузок;
- сложность решений инженерных коммуникаций и систем, требующая создания технических этажей;
- повышенные требования к комплексной безопасности;
- необходимость тщательного подбора материалов конструкций, которые должны обеспечивать однородность физико-механических характеристик и прочность.

Конструктивная схема высотного здания должна обладать соответствующим требованиям уровнем жёсткости [4]. Пространственную жёсткость обеспечивают системы перекрёстных внутренних стен, оболочечная система с несущими наружными стенами и каркасная система с диафрагмами и ядрами жёсткости. Внутренними вертикальными несущими конструкциями объектов могут быть колонны каркаса, продольные и поперечные внутренние стены с пилонами и стены лестнично-лифтового ствола.

При высотном строительстве важную роль играют материалы несущих конструкций зданий [5]. В настоящее время наиболее распространёнными являются железобетонные конструкции, что обусловлено их высокой прочностью, долговечностью, податливостью, огнестойкостью, способностью к энергопоглощению, возможностью создания почти любых форм из монолитного железобетона и малыми эксплуатационными расходами. При высотном строительстве около 40 % затрат приходится на долю несущих конструкций, в связи с чем железобетонные конструкции оказываются экономически выгоднее стальных, поскольку для них требуется в 4-5 раз меньше стали. Однако железобетонные конструкции отличаются достаточно большим весом, вследствие чего им на смену постепенно приходят новые материалы, такие как арматурные стали и высокопрочные бетоны.

Применение высокопрочных бетонов наиболее целесообразно в несущих конструкциях, которые работают на сжатие, таких как колонны и стены [6]. Использование высокопрочных бетонов способствует снижению затрат на материалы для изготовления колонн на 16-25 %, значительному облегчению последних и увеличению полезной площади зданий. Помимо этого, достоинствами высокопрочных бетонов являются [7]:

- высокая прочность на сжатие, изгиб и растяжение;
- значительные водо- и газонепроницаемость;
- устойчивость к появлению трещин, деформациям, морозам и перепадам температур;
- быстрое набирание прочности;
- высокая пластичность, обеспечивающая удобство укладки;
- высокая коррозионная стойкость и устойчивость к химическому воздействию;
- значительная износостойкость.

Данные преимущества значительно расширяют область применения высокопрочных бетонов [8]. Так, они могут использоваться при строительстве и укреплении морских сооружений и большепролетных конструкций мостов,

строительстве и ремонте инфраструктуры, а также при возведении объектов в сейсмических районах.

Согласно СП 311.1325800.2017, к высокопрочным относятся тяжёлые, напрягающие или мелкозернистые бетоны, обладающие классом прочности В60-В150 и приготовленные с использованием вяжущего на основе портландцементного клинкера [9]. Для повышения прочности бетона в его состав вводятся высокоэффективные водоредуцирующие добавки – суперпластификаторы [10]. На первых этапах развития технологии производства бетона повышенной прочности суперпластификаторы позволили сократить водоцеменное отношение до 0,5-0,35, что дало возможность получить бетон прочностью 60-70 МПа. По мере совершенствования технологии изготовления бетонов в бетонную смесь стали вводиться суперпластификаторы нового поколения и пуццолановые добавки в виде золы, микрокремнезема, метакаолина и шлаков, что обеспечило снижение водоцементного отношения до 0,25 и обеспечило прочность бетона до 120-150 МПа. Состав современного высокопрочного бетона включает следующие компоненты [11]:

1. Цемент марок М550-М600. Производство вяжущего вещества осуществляется из клинкера тонкого помола с удельной поверхностью частиц 4000-5000 $см^2/г$.

2. Минеральные добавки. Имеют размер в 100 раз меньше, чем у цемента. В качестве минеральных добавок могут использоваться микрокремнезем, измельчённые вулканические породы, нанокремнезем, метакаолин, измельчённый в порошок шлак и зола уноса.

3. Минеральная мука. Представляет собой измельчённый плотный кремний и гранит размером в 10 раз меньше цемента.

4. Песок. Для производства применяется мытый кварцевый песок средней и крупной фракции, с размером зёрен 1-3 мм, без пылевидных и глинистых частиц.

5. Щебень. Используется щебень из магматических пород – диабаза, гранита и базальта. Камни должны иметь кубическую форму, а размер зёрен быть в интервале от 5 до 40 мм, в зависимости от фракции.

6. Суперпластификаторы. В качестве суперпластификаторов применяются продукты конденсации формальдегида и нафталинсульфокислоты, поликарбамид, лигносульфонаты, продукты поликонденсации меламина и прочие вещества.

В наибольшей степени на прочностные свойства бетона влияет структура цементного камня [12]. Получение бетонов повышенных классов прочности требует соблюдения следующих условий:

- применение высокопрочных заполнителей и цементов;
- высокий расход цемента, необходимого для надёжного заполнения порового пространства новообразованиями;
- предельно низкое водоцементное отношение, благодаря которому обеспечивается высокая плотность структуры;
- применение супертонких минеральных наполнителей, увеличивающих тонкозернистость и плотность цементного камня;
- использование комплексных добавок и суперпластификаторов, повышающих плотность бетона и способствующих управлению его структурообразованием;
- крайне тщательное перемешивание и уплотнение бетонной смеси с целью обеспечения однородности её структуры;
- формирование наиболее благоприятных условий для твердения бетона.

При этом важно учитывать, что между прочностью, надёжностью и долговечностью цементных бетонов отсутствует взаимосвязь, в связи с чем не все меры, направленные на увеличение прочности, будут целесообразными с точки зрения надёжности и долговечности бетона [13]. Прочность является динамичным показателем, поэтому она должна быть достаточной, но не более того.

Таким образом, высокопрочные бетоны отличаются износостойкостью и высокими деформативно-прочностными характеристиками, обладают более высокой по сравнению со стальными конструкциями пожаро- и коррозиестойкостью, благодаря чему могут успешно применяться в различных сферах строительства, в том числе при возведении современных высотных зданий. Основным недостатком высокопрочных бетонов является их высокая стоимость, обусловленная относительной сложностью производства, для которого требуются компоненты ограниченной распространённости и дорогое оборудование для перемешивания компонентов и осуществления контроля качества.

**Список литературы**

1. Мустакимов В.Р. Проектирование высотных зданий: учеб. пособие для вузов / В.Р. Мустакимов. – 2-е изд. – М.: Изд-во Юрайт, 2022. – 309 с.
2. Мирсаяпов И.Т., Никитин Г.П., Симаков В.Д. Применение высокопрочного бетона класса В80 для несущей системы 18-ти этажного жилого дома в комплексе «Салават купере» // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – № 3 (45). – С. 145-152.
3. Баранов А.О., Конструктивные решения высотных зданий// Alfabuild. – 2018. – № 3 (5). – С. 33-51
4. Рябухин А.К. Железобетонные конструкции высотных зданий: учеб. пособие / А.К. Рябухин, Д.В. Лейер. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 161 с.
5. Умаров А.Г., Умаров Р.Г., Блягоз А.М. Особенности высотного строительства в современном мегаполисе // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 5 (65). – С. 49-58.
6. Федоров А.В., Аксенов В.Н. К вопросу о применении высокопрочного бетона в сжатых элементах высотных зданий // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 3 (50). – С. 102-111.

7. Залякаева Д.Р. Технология высокопрочных бетонов // Современные научные исследования и разработки. – 2018. – Т. 1, № 12(29). – С. 226-227.
8. Коровкин М.О., Янбукова А.Р., Ерошкина Н.А. Опыт и перспективы использования высокопрочных и сверхвысокопрочных бетонов // Современные научные исследования и инновации. – 2017. – № 2. – С. 187-194.
9. СП 311.1325800.2017 Бетонные и железобетонные конструкции из высокопрочных бетонов. Правила проектирования. – М.: Стандартинформ, 2018. – 16 с.
10. Петухов А.В., Коровкин М.О., Ерошкина Н.А. Применение высокопрочного бетона в высотном строительстве // Современные научные исследования и инновации. – 2017. – № 3. – С. 75-85.
11. Применение высокопрочного бетона [Электронный ресурс] // Грунтовозов. – URL: https://gruntovozov.ru/chasto-zadavayemiye-voprosy/primenenie-betona/vidy-betona-i-ih-primenenie/primenenie-vysokoprochnogo-betona/ (дата обращения: 06.06.2022).
12. Кирилин Н.М. Эффективность применения стальной фибры во внецентренно-сжатых армированных элементах из высокопрочного бетона // Серия «Строительство»: сборник статей магистрантов и аспирантов. В 2-х томах. – СПб., 2020. – С. 95-106.
13. Пшеничный Г.Н. Строительные материалы и технологии: активированные бетоны: учеб. пособие для вузов / Г.Н. Пшеничный. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022. – 224 с.

**Bibliography**

1. Mustakimov V.R. Design of high-rise buildings: textbook. allowance for universities / V.R. Mustakimov. - 2nd ed. – M.: Publishing house Yurayt, 2022. – 309 p.
2. Mirsayapov I.T., Nikitin G.P., Simakov V.D. The use of high-strength concrete class B80 for the bearing system of an 18-storey residential building in the

complex "Salavat Kupere" // News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. - 2018. - No. 3 (45). - S. 145-152.

3. A. O. Baranov, Structural solutions for high-rise buildings// Alfabuild. - 2018. - No. 3 (5). – pp. 33-51
4. Ryabukhin A.K. Reinforced concrete structures of high-rise buildings: textbook. allowance / A.K. Ryabukhin, D.V. Leyer. - Krasnodar: KubGAU, 2017. - 161 p.
5. Umarov A.G., Umarov R.G., Blagoz A.M. Features of high-rise construction in a modern metropolis // Engineering Bulletin of the Don. - 2020. - No. 5 (65). – S. 49-58.
6. Fedorov A.V., Aksenov V.N. To the question of the use of high-strength concrete in compressed elements of high-rise buildings // Engineering Bulletin of the Don. - 2018. - No. 3 (50). - S. 102-111.
7. Zalyakaeva D.R. Technology of high-strength concrete // Modern scientific research and development. - 2018. - V. 1, No. 12(29). - S. 226-227.
8. Korovkin M.O., Yanbukova A.R., Eroshkina N.A. Experience and prospects for the use of high-strength and ultra-high-strength concrete // Modern scientific research and innovation. - 2017. - No. 2. - P. 187-194.
9. SP 311.1325800.2017 Concrete and reinforced concrete structures made of high-strength concrete. Design rules. – M.: Standartinform, 2018. – 16 p.
10. Petukhov A.V., Korovkin M.O., Eroshkina N.A. The use of high-strength concrete in high-rise construction // Modern scientific research and innovation. - 2017. - No. 3. - P. 75-85.
11. The use of high-strength concrete [Electronic resource] // Gruntovozov. – URL: https://gruntovozov.ru/chasto-zadavayemiye-voprosy/primenenie-betona/vidy-betona-i-ih-primenenie/primenenie-vysokoprochnogo-betona/ (date of access: 06.06.2022).
12. Kirilin N.M. The effectiveness of the use of steel fiber in eccentrically compressed reinforced elements made of high-strength concrete // Series

"Construction": a collection of articles of undergraduates and graduate students. In 2 volumes. - St. Petersburg, 2020. - S. 95-106.

13. Wheat G.N. Building materials and technologies: activated concrete: textbook. allowance for universities / G.N. Wheat. - 2nd ed., Rev. and additional – M.: Publishing house Yurayt, 2022. – 224 p.

*© Доствал Г., Хая В., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022*

**Для цитирования:** Доствал Г., Хая В. ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ В КОНСТРУКЦИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022