



УДК 691

doi: 10.55287/22275398_2026_60_29

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ БОЛЬШЕПРОЛЁТНЫХ ПУСТОТНЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОКРЕМНЕЗЁМА

Л. П. Нагрузова *

Р. С. Федюк **

Н. А. Эклер *

И. В. Герасименко *

* Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, г. Абакан

** Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Аннотация

Переход к современному жилью с гибкой планировкой требует увеличения пролётов перекрытий. Традиционные многопустотные плиты высотой 220 мм рассчитаны на пролёт до 9 м, тогда как перекрытие 12 м традиционно требует увеличения высоты сечения до 250–400 мм, что ведёт к росту массы и материалоемкости. Цель исследования — обосновать возможность сохранения стандартной высоты сечения плиты (220 мм) при увеличении расчётного пролёта до 12 м за счёт применения бетона, модифицированного микрокремнезёмом (МКЗ). Применена комбинированная методика, включающая экспериментальный подбор составов бетона с добавлением ультрадисперсного МКЗ-85 (от 10 до 30% от массы цемента) и суперпластификатора СП-1, испытания образцов на прочность после тепловлажностной обработки (ТВО), а также расчётную оценку несущей способности и деформативности плит по двум группам предельных состояний.

Установлено, что введение МКЗ повышает прочность бетона на 40–70% и увеличивает модуль упругости на 10–15% при одновременном снижении расхода цемента до 50%. Расчётная оценка показала, что плиты из бетона класса В35 с МКЗ удовлетворяют требованиям по прочности и трещиностойкости для пролёта 9 м. Для пролёта 12 м лимитирующим фактором является деформативность, однако за счёт повышенного модуля упругости расчётный прогиб снижается до нормативных значений ($45 \text{ мм}, f \leq l/267$). Экономический анализ выявил снижение стоимости 1 м^3 бетонной смеси на 200–450 рублей и сокращение времени ТВО на 3–4 часа. Применение микрокремнезёма позволяет увеличить расчётный пролёт многопустотных плит на 33% (с 9 до 12 м) без увеличения высоты их сечения и снижения несущей способности. Данное решение обеспечивает возможность создания зданий с гибкой планировкой (свободные пространства до $9 \times 9 \text{ м}$ без промежуточных колонн), увеличивает срок моральной стойкости жилья до 80–100 лет и способствует утилизации техногенных отходов. Технология признана технически и экономически обоснованной для внедрения на заводах ЖБИ.

Ключевые слова

большепролётная плита, многопустотная плита, микрокремнезём, гибкая планировка, высокопрочный бетон, модуль упругости, тепловлажностная обработка.

Дата поступления в редакцию

05.09.2026

Дата принятия к печати

08.09.2026

Введение

Сложившийся дефицит жилья и ограниченная платёжеспособность населения формируют устойчивый спрос на жильё эконом-класса, который проявляется как в рамках государственных жилищных программ, так и в сфере частного инвестирования [1]. В условиях современной России, где объёмы жилищного строительства ежегодно превышают 80 млн м², приоритетным направлением остаётся возведение доступного жилья с улучшенными качественными характеристиками [2]. При этом рассматриваются возможности качественной трансформации такого жилья в течение нормативного срока его физической эксплуатации, что отвечает принципам устойчивого развития и ресурсосбережения [3].

Обеспечение современного жилищного строительства требует перехода от «клеточной» структуры панельных домов к зданиям с гибкой планировкой помещений. Как отмечает С. В. Николаев, малогабаритные квартиры, в которых невозможно изменить планировку, объединить соседние помещения или трансформировать санузелы, теряют свою востребованность и рыночную стоимость [4]. Срок морального старения такого жилья составляет 10–30 лет, тогда как срок эксплуатации новых домов достигает 80–100 лет. Современные покупатели всё чаще отдают предпочтение квартирам с открытыми планировочными решениями, где возможно создание многофункциональных пространств, объединение гостиной с кухней, организация рабочих зон и мест для отдыха. Эта тенденция особенно выражена в сегменте комфорт- и бизнес-класса, однако постепенно распространяется и на массовое жильё.

Основным конструктивным препятствием для создания больших пространств (семейных комнат площадью 60–80 м² и более) является ограниченная несущая способность существующих плит перекрытия. Для зданий с кирпичными несущими стенами или каркасной схемой решение проблемы — применение многопустотных преднапрягаемых плит, позволяющих перекрывать пролёты 9–12 м [5–6]. Однако типовые плиты высотой 220 мм рассчитаны на пролёт до 9 м. Увеличение пролёта до 12 м традиционно требует увеличения высоты сечения до 250–400 мм, что ведёт к росту материалоемкости и массы перекрытия, усложняет транспортировку и монтаж конструкций, увеличивает нагрузку на фундаменты и несущие стены. Альтернативные решения, такие как монолитные перекрытия или балочные системы, требуют значительных затрат труда, времени и оборудования на строительной площадке, что противоречит принципам индустриального домостроения.

В связи с этим актуальным направлением исследований является разработка технологий получения высокопрочных бетонов с улучшенными физико-механическими характеристиками, позволяющих расширить возможности традиционных сборных железобетонных конструкций [7–10]. Одним из перспективных подходов является модификация бетонных смесей ультрадисперсными минеральными добавками, в частности микрокремнезёмом (МКЗ) — техногенным отходом ферросплавного производства, обладающим высокой пуццолановой активностью и микронаполняющим эффектом [11]. Применение МКЗ в составе бетонов позволяет существенно повысить прочность, долговечность и деформативные характеристики материала при одновременном снижении расхода цемента и сокращении энергозатрат на тепловлажностную обработку, что соответствует современным требованиям экологической безопасности и ресурсосбережения [12–15].

Цель настоящего исследования — обосновать возможность сохранения высоты плиты 220 мм при пролёте до 12 м за счёт применения бетона, модифицированного микрокремнезёмом (МКЗ), при удовлетворении нормативным требованиям по первой и второй группам предельным состояниям. Достижение поставленной цели позволит расширить архитектурно-планировочные возможности зданий с гибкой планировкой, сохранить индустриальные методы строительства и обеспечить экономическую эффективность возводимых объектов.

Материалы и методы исследований

Для исследования использовалась комбинированная методика, включающая экспериментальный подбор составов бетона с МКЗ [4], испытания образцов на прочность после тепловлажностной обработки (ТВО) и расчётную оценку несущей способности плит. В качестве исходных материалов применялись: портландцемент ПЦ500 ДО (М400-М500), песок с модулем крупности (1,67 – 2,9), щебень фракции 5 – 20 мм, микрокремнезём МКЗ-85 (ТУ 5743-048-02495332-96) производства ОАО «Кузнецкие ферросплавы», суперпластификатор «Полипласт СП-1».

Микрокремнезём представляет собой ультрадисперсный отход ферросплавных заводов, образующийся при конденсации газовой фазы. Частицы МКЗ имеют сферическую форму, средний размер 0,1 – 0,5 мкм, удельную поверхность 15 – 25 м²/г, содержание аморфного SiO₂ до 90 – 96% (таблица 1). Исследования показали, что благодаря высокой пуццолановой активности и микронаполняющему эффекту МКЗ обеспечивает: повышение прочности бетона на 40 – 70% при дозировке 20 – 30% от массы цемента, снижение расхода цемента до 50%, сокращение продолжительности ТВО на 3 – 4 часа, увеличение морозостойкости и водонепроницаемости, улучшение связности литых бетонных смесей [16].

Таблица 1

Химический состав и свойства микрокремнезёма

SiO ₂ , %	п.п.п., %	H ₂ O, %	Na ₂ O, %	K ₂ O, %	CaO, %	SO ₃ , %	плотность насыпная, т/м ³	удельная поверхность частиц, м ² /г
90	2,5	0,26	1,26	1,85	0,44	0,7	0,4 – 0,6	15

В таблице 2 приведены разработанные и исследованные в лаборатории «Строительные материалы» кафедры Промышленного гражданского строительства и техносферной безопасности в Инженерно-технологическом институте Хакасского государственного университета имени Н. Ф. Катанова составы бетона с МКЗ, заводские рабочие составы.

Таблица 2

Составы бетонных смесей с микрокремнезёмом (на 1 м³)

Наименование материалов	Ед. изм.	Факт (лабор.)						
		B35 №504 заводской	B30 №505 заводской	B25 №509 заводской	B22,5 №510 заводской	B20 №516 заводской	B15 №514 заводской	B50
		рекомен- дуемый	рекомен- дуемый	рекомен- дуемый	рекомен- дуемый	рекомен- дуемый	рекомен- дуемый	рекомен- дуемый
Цемент	кг/м ³	500	450	390	330	310	305	–
		275	250	230	200	180	165	355
Микро- кремнезём	кг/м ³	–	–	–	–	–	–	–
		55	50	45	40	35	30	70
Песок	кг/м ³	640	750	820	870	890	770	–
		885	915	940	905	880	860	805
Щебень (гравий) фр. 5 – 20 мм	кг/м ³	1140	1110	1060	1070	1100	1195	–
		1065	1060	1065	1125	1135	1140	1110

Технология приготовления бетонной смеси с микрокремнезёмом принципиально не отличается от традиционной заводской технологии производства бетона для многпустотных плит. Различия заключаются лишь в способе введения микрокремнезёма: первый способ предусматривает его подачу в смеситель в виде водной суспензии, второй — в сухом виде (*рисунок 1*).

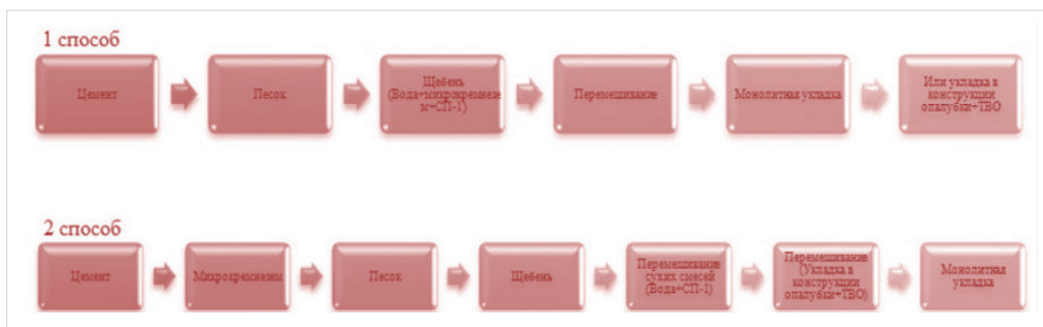


Рис. 1. Технологическая схема изготовления бетонов разных марок

Результаты и обсуждение

В ходе экспериментальных исследований получены зависимости прочности бетона после тепловлажностной обработки от расхода цемента для контрольных и опытных составов с микрокремнезёмом (*рисунок 2*). Введение 20% МКЗ позволяет при снижении расхода цемента до 230 кг/м³ получать прочность, сопоставимую с контрольными образцами (353 кг/м³). При этом для более высоких классов наблюдается превышение прочности на 20–40% при экономии цемента до 50% [16]. Как показано на *рисунке 2а*, при расходе цемента 166 кг/м³ достигается класс В20, при 355 кг/м³ — В50, а при 340 кг/м³ — В55.

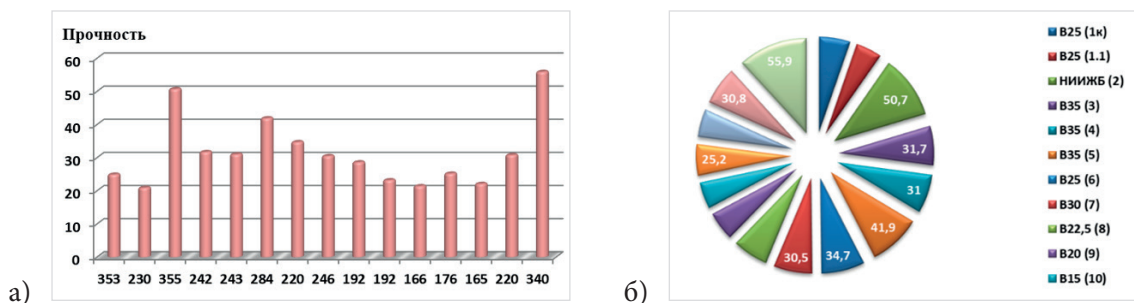


Рис. 2. а) зависимость прочности от расхода цемента; б) прочность после ТВО

На *рисунке 3* представлены результаты сравнительных испытаний образцов разных классов бетона. Для каждого класса приведены значения прочности контрольного заводского состава и опытного состава с добавкой микрокремнезёма. Установлено, что для всех исследованных классов (от В15 до В35) применение микрокремнезёма обеспечивает достижение проектной прочности при снижении расхода цемента. Наибольший эффект зафиксирован для состава № 5 (класс В35), где прочность после ТВО составила 41,9 МПа при расходе цемента 284 кг/м³ и дозировке микрокремнезёма 59 кг/м³, что превышает прочность контрольного образца класса В25 (24,9 МПа) более чем в 1,6 раза. Для низких классов бетона (В15–В20) также подтверждена возможность получения требуемой прочности при расходе цемента 160–180 кг/м³, что соответствует экономии цемента до 50% по сравнению с традиционными составами [16].

При изучении влияния микрокремнезёма на технологические свойства цементного теста установлено, что увеличение его дозировки с 0 до 40% от массы цемента сопровождается ростом нормальной густоты с 26,25% до 45,66% (рисунки 3, таблица 3). Это обусловлено высокой удельной поверхностью частиц МКЗ (15–25 м²/г), требующих дополнительного количества воды для полного смачивания. Введение суперпластификатора СП-1 позволяет компенсировать повышенную водопотребность и обеспечивает требуемую подвижность бетонной смеси (осадка конуса 5–15 см в зависимости от класса бетона и номенклатуры изделий). Следует отметить, что при дозировке микрокремнезёма свыше 20% возникает необходимость применения ингибиторов коррозии для защиты арматурной стали. Однако превышение этого порога не даёт существенного прироста прочности и других свойств, поэтому в настоящих исследованиях использовалась дозировка МКЗ не более 20% [17].

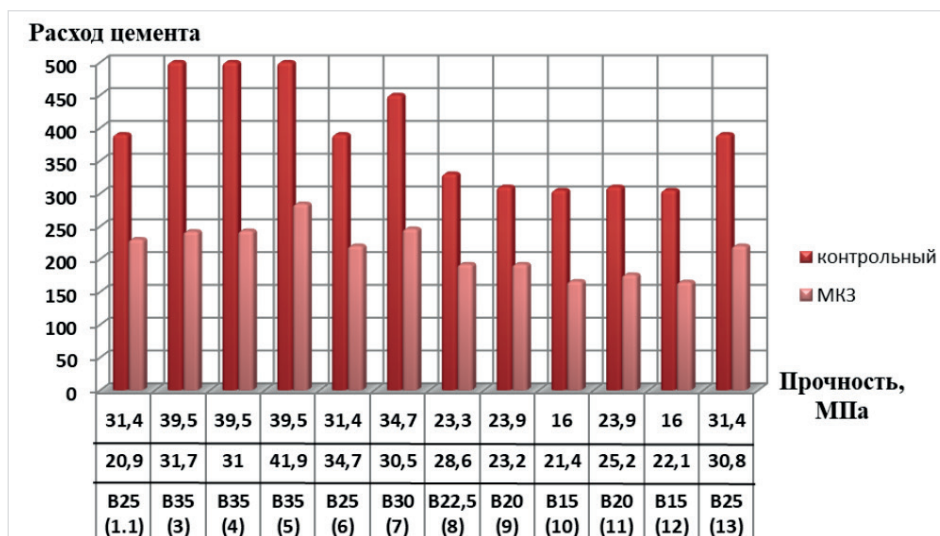


Рис. 3. Диаграмма зависимости прочности от расхода цемента с микрокремнеземом

Таблица 3

Оптимальная дозировка введение микрокремнезема в бетонную смесь

№	Количество кремнезема	Нормальная густота, %
1	0	26,25
2	10	28,50
3	20	34,50
4	30	38,75
5	40	45,66

Исследование деформативных свойств показало, что бетоны с микрокремнеземом характеризуются повышенным модулем упругости (на 10–15% выше по сравнению с контрольными составами) и сниженной ползучестью. Усадочные деформации при дозировке МКЗ до 25% от массы цемента не превышают значений для обычного бетона. Это особенно важно при производстве большепролётных плит перекрытия, где жёсткость конструкции является критическим параметром [16].

Расчётная оценка несущей способности большепролётных плит показала, что плиты из бетона класса B35 выше с микрокремнеземом удовлетворяют требованиям по прочности и трещиностойкости для пролёта 9 м с коэффициентом запаса. Для пролёта 12 м определяющим фактором становится

деформативность, однако за счёт повышенного модуля упругости бетона с МКЗ расчётные прогибы снижаются до нормативных значений. Таким образом, применение микрокремнезёма позволяет сохранить стандартную высоту сечения плиты 220 мм при увеличении расчётного пролёта на 33% (с 9 до 12 м) без снижения несущей способности.

Экономическая эффективность применения микрокремнезёма подтверждена сравнительными расчётами стоимости 1 м³ бетонной смеси (*рисунок 4*). Замена части цемента на микрокремнезём обеспечивает снижение стоимости от 200 до 450 рублей на 1 м³ в зависимости от класса бетона. При этом дополнительный эффект достигается за счёт сокращения продолжительности тепловлажностной обработки на 3–4 часа, что увеличивает производительность формующих линий и снижает энергозатраты завода [16].

Применение микрокремнезёма позволяет не только повысить прочность бетона, но и увеличить модуль упругости (на 10–15% по данным [4]), что снижает деформативность конструкций. Для пролёта 12 м за счёт повышенного модуля упругости бетона с МКЗ расчётный прогиб снижается до 45 мм, что соответствует условию $f \leq l/267$.

Следует отметить, что проектирование зданий с гибкой планировкой требует также решения вопроса устройства лестнично-лифтовых узлов и инженерных коммуникаций. Как показано в работах С. В. Николаева, переход на «лежачий» лестнично-лифтовой узел, расположенный вдоль продольных осей здания, позволяет объединить все инженерные разводки и создать ядро жёсткости, не загромождающее первые этажи [1]. В таком решении большепролётные плиты с МКЗ становятся ключевым элементом, обеспечивающим свободную планировку как в типовых этажах, так и на первом этаже.

Экономический анализ показывает, что замена 20–30% цемента на МКЗ при производстве плит снижает стоимость 1 м³ бетонной смеси на 200–450 рублей при одновременном улучшении физико-механических характеристик [16].

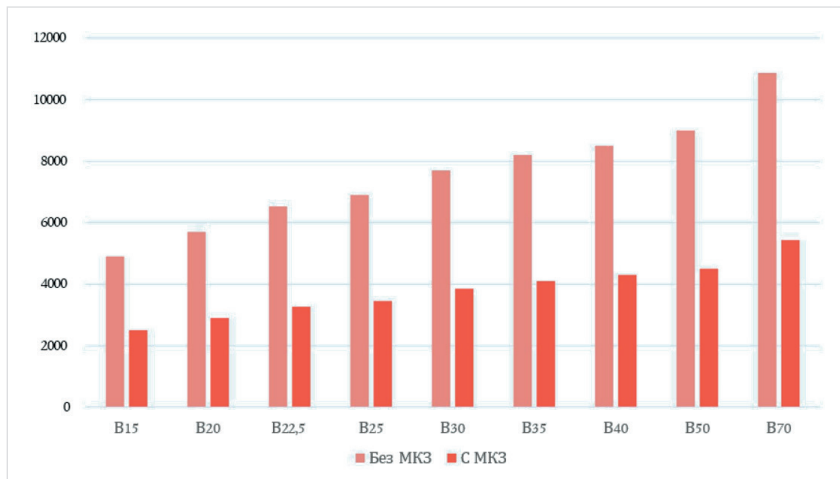


Рис. 4. Стоимость (руб.) бетона разных классов

Выводы

Цель настоящей работы состояла в обосновании возможности сохранения стандартной высоты сечения 220 мм при увеличении расчётного пролёта многопустотных плит перекрытия с 9 до 12 метров за счёт применения бетона, модифицированного микрокремнезёмом. В результате выполненных экспериментальных и расчётных исследований поставленная цель достигнута.

Установлено, что введение 20–30% микрокремнезёма от массы цемента в сочетании с суперпластификатором СП-1 обеспечивает повышение прочности бетона на 40–70%, снижение расхода цемен-

та до 50%, сокращение продолжительности тепловлажностной обработки на 3–4 часа, а также увеличение морозостойкости и водонепроницаемости. Благодаря этому становится возможным сохранить стандартную высоту сечения плиты 220 мм при увеличении расчётного пролёта до 12 метров, что ранее требовало увеличения высоты до 250–300 мм.

Выполненные расчёты по предельным состояниям подтвердили, что для пролёта 9 м плита из бетона класса В35 с микрокремнезёмом удовлетворяет всем нормативным требованиям по прочности, трещиностойкости и деформативности. Для пролёта 12 м лимитирующим фактором является деформативность, однако за счёт повышения модуля упругости бетона с микрокремнезёмом на 10–15% расчётный прогиб снижается до значений, соответствующих нормативным ограничениям [18]. Таким образом, применение микрокремнезёма позволяет сохранить стандартную высоту сечения плиты 220 мм при увеличении расчётного пролёта на 33% без снижения несущей способности.

Разработанные составы бетона с микрокремнезёмом позволяют получать классы от В15 до В70. Для высокопрочных бетонов В60 и В70 расход цемента составляет 380–420 кг/м³, дозировка микрокремнезёма — 95–126 кг/м³, водоцементное отношение снижается до 0,28–0,35, а прочность после тепловлажностной обработки достигает 62,5–72,0 МПа. Экономический анализ показал, что замена части цемента на микрокремнезём снижает стоимость 1 м³ бетонной смеси на 200–450 рублей в зависимости от класса бетона [16].

Применение большепролётных плит с микрокремнезёмом в сочетании с конструктивными решениями, такими как «стол на ножках» для первых этажей и «лежащий» лестнично-лифтовой узел, позволяет создавать здания с гибкой планировкой, свободными пространствами размером 9×9 метров без промежуточных колонн, возможностью трансформации квартир в процессе эксплуатации и увеличенным сроком моральной стойкости (до 80–100 лет вместо 10–30 лет для типового малогабаритного жилья) [19].

Таким образом, цель работы — обоснование конструктивных и технологических решений для производства большепролётных пустотных плит перекрытия с сохранением высоты сечения 220 мм — достигнута. Использование микрокремнезёма является технически и экономически обоснованным, обеспечивает повышение несущей способности, долговечности и архитектурной гибкости зданий, а также способствует утилизации техногенных отходов и снижению экологической нагрузки. Полученные результаты рекомендуются для внедрения на заводах железобетонных изделий и в практике монолитного строительства.

Библиографический список

1. Василенко, М. Е. Совершенствование бухгалтерской отчетности в соответствии с международными стандартами финансовой отчетности / М. Е. Василенко, Е. В. Левкина, В. В. Малышева // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. — 2017. — Т. 9, № 4 (39). — С. 66–80. — DOI 10.24866/VVSU/2073-3984/2017-4/66-80. — EDN ZWJVMZ.
2. Левкина, Е. В. Оценка экономической безопасности региона (на примере Приморского края) / Е. В. Левкина, Л. А. Сахарова, Е. И. Денисевич // Экономика, предпринимательство и право. — 2022. — Т. 12, № 9. — С. 2529–2542. — DOI 10.18334/epp.12.9.116259. — EDN NXDMPV.
3. Potapov V., Efimenko Y., Fediuk R., Gorev D. Effect of hydrothermal nanosilica on the performances of cement concrete, Construction and Building Materials, Volume 269, 2021, 121307, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121307>.

4. Николаев С. В. Социальное жильё на новом этапе совершенствования // Жилищное строительство. 2013. № 3. С. 2 – 8.
5. Нагрузова Л. П., Эклер Н. А., Глазырина Е. А. Многопустотные преднапрягаемые плиты перекрытия большой длины из бетона с микрокремнезёмом // Материалы международной конференции. Хакасский государственный университет. 2021. С. 1 – 4.
6. Нагрузова Л. П., Тихонова О. П., Пирогов Д. В., Герасименко И. В., Курбатова М. Н. Многопустотные преднапрягаемые большепролётные плиты в Республике Хакасия // Современные проблемы строительства. 2024. С. 1 – 3.
7. Баженов Ю. М., Федюк Р. С., Лесовик В. С. Обзор современных высокоэффективных бетонов // Наукоемкие технологии и инновации. Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В. Г. Шухова. 2019. С. 45 – 49.
8. De Oliveira L. B., Marvila M. T., Pereira E. C., Vieira C. M. F., de Azevedo A. R. G., Fediuk R. Durability of geopolymers with industrial waste. *Case Studies in Construction Materials*. 2022. Vol 16. e00839.
9. Akhayere E., Kurtis Onochie K. Influence of sustainable synthesized nano silica enhanced with plastic waste, on the mechanical properties of concrete: A comparative study on varying temperatures, *Next Research*, Volume 2, Issue 4, 2025, 100946, <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.100946>.
10. Ngo T. V., Nguyen N. T., Le B. H., Tran M. Q., Hoang V. H., Tran B. H. Development of Green Ultra High Performance Concrete with low cement content using mineral powders and nano-silica extracted from rice husk ash, *Case Studies in Construction Materials*, Volume 23, 2025, e05537, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05537>.
11. Huang Y., Wu X., Fang C., Wang X., Liu C., Su H. Study on water permeability of hydraulic concrete under freeze-thaw deterioration based on microscopic pore structure evolution. *Construction and Building Materials*, Volume 504, 2025, 144502, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.144502>.
12. Wang J., Xu H., Wang W., Yuan Q., Cao H., Wang D. Surface modification of waste rubber particles using nano-silica for enhanced strength of rubberized concrete, *Journal of Building Engineering*, Volume 117, 2026, 114814, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.114814>.
13. Bagheri H., Mirhosseini S. M., Hassani Joshaghani A., Zeghami E., Karimi A. Investigating the Role of Chemically Modified PET in Enhancing the Properties of Green Concrete with Nano Silica Under Freeze-Thaw Conditions, *Results in Engineering*, 2025, 108527, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.108527>.
14. Yuan Z., Zhang Z., Yao Y., Lu C. Mechanical performance and mechanism of geopolymer concrete with recycled aggregates impregnated by in-situ-generated nano-silica, *Construction and Building Materials*, Volume 494, 2025, 143569, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143569>.
15. Chen Y., Liu Z., Zhou D., Yuan B., Liu S., Luo Z., Li X., Jin D., Xu F. Improving interfacial bonding between ordinary Portland cement and geopolymer concrete using acid/alkaline-catalyzed nano-SiO₂ sols: Insights into performance and mechanisms, *Construction and Building Materials*, Volume 490, 2025, 142537, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.142537>.
16. Нагрузова Л. П. Подбор составов бетона: В40; В35; В30; В27,5; В25 с применением микрокремнезёма с привязкой к местным материалам завода «Приор ЗЖБК г. Саяногорск»: Отчёт по НИР. Абакан: ХТИ — филиал СФУ, 2017. 73 с.
17. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В. Микрокремнезем в бетоне // ВНИИНТПИ. Сер.: Строительные материалы. — 1993. — Вып. 1. — С. 55.

18. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. — М.: Минстрой России, 2018. — 162 с. (Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003).
19. Николаев С. В., Шрейбер А. К., Хаяутин Ю. Г. Инновационность системы панельно-каркасного домостроения // Жилищное строительство. 2014. № 5. С. 3–5.
20. Mahadi M. I. A., Okolnikova G. E., Obeid M. A. A., Akoev F. Sh., Kissani M. Heat Treatment of Concrete During the Cold Season // Системные технологии. 2023. № 3 (48). С. 5–14.
21. Okolnikova G. E., Soumyadeep S., Akoev F. Sh. Comparison of Finite Element Method and Force Method in Analysis of Frame Elements // Системные технологии. 2023. № 3 (48). С. 24–33.
22. Lalin V. V., Ngo H. H., Vavilova A. M. A Finite Element Force Method Applied to Free Vibration of Rod Systems // Системные технологии. 2024. № 1 (50). С. 34–46.

DESIGN FEATURES OF LONG-SPAN HOLLOW-CORE FLOOR SLABS USING SILICA FUME

L. P. Nagruzova *

R. S. Fediuk **

N. A. Ekler *

I. V. Gerasimenko *

* Khakassian State University named after N. F. Katanov, Abakan

** Far Eastern Federal University, Vladivostok

Abstract

The transition to modern housing with flexible layouts requires increasing floor span lengths. Conventional hollow-core slabs with a depth of 220 mm are designed for spans of up to 9 m, whereas a 12 m span traditionally requires increasing the section depth to 250–400 mm, which results in greater weight and material consumption.

The aim of this study is to substantiate the possibility of maintaining the standard slab depth of 220 mm while increasing the design span to 12 m through the use of concrete modified with silica fume. A combined methodology was applied, including experimental selection of concrete mix proportions with the addition of ultrafine silica fume MKZ-85 at 10–30% of the cement mass and SP-1 superplasticizer, testing of specimens for strength after heat-and-moisture treatment, and a design assessment of slab load-bearing capacity and deformability according to the first and second limit states.

The results showed that the addition of silica fume increases concrete strength by 40–70% and the modulus of elasticity by 10–15%, while reducing cement consumption by up to 50%. The design assessment demonstrated that slabs made of Class B35 silica-fume-modified concrete meet strength and crack-resistance requirements for a 9 m span. For a 12 m span, deformability is the governing factor; however, owing to the increased modulus of elasticity, the calculated deflection is reduced to the allowable value of 45 mm ($f \leq l/267$).

The Keywords

Long-span slab, hollow-core slab, silica fume, flexible layout, high-strength concrete, modulus of elasticity, heat-and-moisture treatment.

Date of receipt in edition

05.09.2026

Date of acceptance for printing

08.09.2026

The economic analysis revealed a reduction in the cost of 1 m³ of concrete mix by RUB 200–450 and a reduction in heat-and-moisture treatment time by 3–4 hours. The use of silica fume makes it possible to increase the design span of hollow-core slabs by 33%, from 9 to 12 m, without increasing their section depth or reducing their load-bearing capacity. This solution enables the construction of buildings with flexible layouts, including open spaces of up to 9×9 m without intermediate columns, increases the functional service life of housing to 80–100 years, and contributes to the utilization of industrial by-products. The technology is considered technically and economically justified for implementation at precast reinforced-concrete plants.

Ссылка для цитирования:

Л. П. Нагрузова, Р. С. Федюк, Н. А. Эклер, И. В. Герасименко. Особенности конструирования большепролётных пустотных плит перекрытия с применением микрокремнезёма. — Системные технологии. — 2026. — № 3 (60). — С. 29–38.