

**ҚҰРЫЛЫС ТЕХНОЛОГИЯСЫ  
ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА  
CONSTRUCTION TECHNOLOGY**

МРНТИ 67.09.33

<https://doi.org/10.62724/202620701>

**Беккалиев Нурлан Мейрамович<sup>1</sup>**

магистр технических наук,

Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск,  
Казахстан, [Nurlan\\_b-90@mail.ru](mailto:Nurlan_b-90@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-7745-1358

**Скрипикова Нелли Карповна<sup>3</sup>**

доктор технических наук,

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия,  
[nks2003@mail.ru](mailto:nks2003@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-3384-9564

**В ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАТРИЕВЫХ СУЛЬФОНАТНЫХ ДОБАВОК  
НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НЕАВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА**

*Аннотация.* В статье представлены результаты исследований по совершенствованию технологии производства неавтоклавного ячеистого бетона путем применения натриевой сульфонатной добавки в составе формовочной смеси. Возрастающий интерес к данному виду строительных материалов обусловлен необходимостью получения энергоэффективных стеновых изделий с пониженной плотностью и достаточными прочностными характеристиками без использования энергоемкой автоклавной обработки. Рассмотрены закономерности формирования пористой структуры материала в процессе химического газообразования, а также влияние поверхностно-активного компонента на устойчивость образующихся газовых ячеек. Показано, что введение натриевого сульфоната способствует стабилизации порообразования, снижает вероятность коалесценции газовых пузырьков и обеспечивает более равномерное распределение пор по объему материала. В ходе экспериментальных исследований выполнена оценка влияния различных концентраций добавки на показатели средней плотности, прочности при сжатии и однородности структуры затвердевшего газобетона. Установлено, что использование натриевого сульфоната в рациональных дозировках позволяет повысить качество межпоровых перегородок, улучшить физико-механические характеристики материала и обеспечить получение изделий с заданными эксплуатационными свойствами. Полученные результаты подтверждают перспективность применения сульфонатсодержащих добавок при производстве неавтоклавных ячеистых бетонов для снижения материалоемкости и повышения эффективности строительных конструкций.

*Ключевые слова.* Ячеистый бетон, неавтоклавное твердение, натриевый сульфонат, порообразование, алюминиевый газообразователь, пористая структура, прочность при сжатии, средняя плотность.

**Беккалиев Нурлан Мейрамович\*<sup>1</sup>**

техника ғылымдарының магистрі,

Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан,  
[Nurlan\\_b-90@mail.ru](mailto:Nurlan_b-90@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-7745-1358

**Скрипикова Нелли Карповна<sup>3</sup>**

техника ғылымдарының докторы,

Томск мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті, Томск, Ресей, [nks2003@mail.ru](mailto:nks2003@mail.ru),

ORCID ID: 0000-0003-3384-9564

## АВТОКЛАВСЫЗ ҰЯЛЫ БЕТОННЫҢ ҚҰРЫЛЫМ ҚАЛЫПТАСУЫНА НАТРИЙ СУЛЬФОНАТЫ ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа.** Мақалада қалыптау қоспасының құрамына натрий сульфонаты негізіндегі қоспаны енгізу арқылы автоклавсыз ұялы бетон өндіру технологиясын жетілдіру бойынша жүргізілген зерттеу нәтижелері келтірілген. Бұл құрылыс материалына деген қызығушылықтың артуы энергияны көп қажет ететін автоклавтық оңдеуді қолданбай-ақ, тығыздығы төмен және жеткілікті беріктік сипаттамаларына ие энергия тиімді қабырғалық бұйымдарды өндіру қажеттілігімен түсіндіріледі. Зерттеу барысында химиялық газ түзілу процесі кезінде материалдың кеуекті құрылымының қалыптасу заңдылықтары, сондай-ақ беттік-белсенді қоспаның түзілетін газ кеуектерінің тұрақтылығына әсері қарастырылды. Натрий сульфонатын енгізу кеуек түзілу процесін тұрақтандыратыны, газ көпіршіктерінің бірігу ықтималдығын төмендететіні және материал көлемі бойынша кеуектердің біркелкі таралуын қамтамасыз ететіні анықталды. Эксперименттік зерттеулер барысында қоспаның әртүрлі мөлшерлерінің қатайған газбетонның орташа тығыздығына, сығылу кезіндегі беріктігіне және құрылымының біртектілігіне әсері бағаланды. Нәтижелер натрий сульфонатын оңтайлы мөлшерде қолдану кеуекаралық қалқалардың сапасын жақсартуға, материалдың физика-механикалық қасиеттерін арттыруға және қажетті пайдалану сипаттамаларына ие бұйымдар алуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Алынған нәтижелер автоклавсыз ұялы бетон өндірісінде сульфонат құрамды қоспаларды қолданудың материал сыйымдылығын төмендету және құрылыс конструкцияларының тиімділігін арттыру тұрғысынан перспективалы бағыт екенін дәлелдейді.

**Кілт сөздер.** ұялы бетон, автоклавсыз қатаю, натрий сульфонаты, кеуек түзілу, алюминийлі газ түзгіш, кеуекті құрылым, сығылу беріктігі, орташа тығыздық.

**Bekkaliyev Nurlan Meiramovich<sup>\*1</sup>**

master of technical sciences,

West Kazakhstan Innovation and Technology University,

Uralsk, Kazakhstan, [Nurlan\\_b-90@mail.ru](mailto:Nurlan_b-90@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-7745-1358

**Skripikova Nelli Karpovna<sup>3</sup>**

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia,

[nks2003@mail.ru](mailto:nks2003@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-3384-9564

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SODIUM SULFONATE ADDITIVES ON THE STRUCTURE FORMATION OF NON-AUTOCLAVED CELLULAR CONCRETE

**Abstract.** This paper presents the results of research aimed at improving the production technology of non-autoclaved cellular concrete through the incorporation of a sodium sulfonate-based additive into the molding mixture. The growing interest in this type of building

material is associated with the need to produce energy-efficient wall products with reduced density and adequate strength characteristics without the use of energy-intensive autoclave curing. The study examines the mechanisms of porous structure formation during the chemical gas-generation process and investigates the effect of a surfactant additive on the stability of gas bubbles formed within the mixture. It was established that the introduction of sodium sulfonate stabilizes the pore-forming process, reduces the likelihood of gas bubble coalescence, and promotes a more uniform distribution of pores throughout the material volume. Experimental investigations were conducted to evaluate the influence of different additive dosages on the average density, compressive strength, and structural homogeneity of hardened aerated concrete. The results demonstrated that the use of sodium sulfonate in optimal amounts improves the quality of inter-pore partitions, enhances the physical and mechanical properties of the material, and enables the production of concrete products with specified performance characteristics. The findings confirm the potential of sulfonate-containing additives for the manufacture of non-autoclaved cellular concrete, contributing to reduced material consumption and improved efficiency of building structures.

**Key words.** Cellular concrete, non-autoclaved curing, sodium sulfonate, pore formation, aluminum gas-forming agent, porous structure, compressive strength, average density.

**Введение.** Ячеистые бетоны занимают важное место среди современных строительных материалов благодаря сочетанию низкой объемной массы, высоких теплоизоляционных показателей и достаточной несущей способности. Использование таких материалов позволяет снизить нагрузку на строительные конструкции и повысить энергетическую эффективность зданий [1]. Особый интерес представляет неавтоклавный газобетон, технология изготовления которого отличается меньшими капитальными затратами по сравнению с автоклавным производством, поскольку исключает необходимость применения дорогостоящих автоклавов и высокотемпературной обработки под давлением. Одним из факторов, определяющих качество неавтоклавного газобетона, является стабильность процесса формирования пористой структуры. В ходе газообразования необходимо обеспечить образование равномерно распределённых замкнутых пор, сохраняющих свою форму до момента схватывания и твердения смеси [2]. Нарушение устойчивости газовых пузырьков приводит к образованию крупных пустот, расслоению смеси и ухудшению физико-механических характеристик материала. Для регулирования процессов порообразования в состав газобетонных смесей вводят различные химические модификаторы. Среди них особое внимание привлекают соединения сульфатного типа, обладающие поверхностно-активными свойствами.[3] Натриевый сульфат способствует снижению поверхностного натяжения жидкой фазы, повышает устойчивость газовых пузырьков и оказывает положительное влияние на формирование однородной ячеистой структуры. В связи с этим исследование влияния натриевого сульфата на свойства неавтоклавного газобетона является актуальной научно-практической задачей, направленной на получение эффективных теплоизоляционно-конструкционных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

**Материалы и методы исследования.** Используемые материалы В качестве газообразователя применялась алюминиевая пудра марки ПАК-3, обладающая высокой дисперсностью и способностью активно взаимодействовать со щелочной средой цементного теста. В процессе реакции алюминия с гидроксидом кальция происходит выделение водорода, обеспечивающего образование пористой структуры материала.

Связующим компонентом служил портландцемент марки М500. Для приготовления смеси использовался кварцевый песок с максимальным размером зерен до 2,5 мм. В качестве модифицирующей добавки применялся натриевый сульфат, количество которого варьировалось в пределах 0,05–0,25 % от массы цемента.

Для исключения влияния изменения водосодержания на результаты исследований во всех составах поддерживалось постоянное водоцементное отношение, равное 0,45. Каждая экспериментальная серия включала не менее трёх образцов для определения прочности при сжатии и трёх образцов для оценки истираемости. Основной целью экспериментальной программы являлось изучение влияния различных дозировок натриевого сульфата на структуру и эксплуатационные свойства неавтоклавного газобетона[4].

#### Приготовление бетонной смеси

Перед введением в смесь натриевый сульфат растворяли в части затворяющей воды до получения однородного раствора. Сухие компоненты предварительно смешивались в лабораторном смесителе в течение 1–1,5 минут. После этого добавлялась вода с растворённой химической добавкой, и перемешивание продолжалось до достижения однородной консистенции[5]. По завершении смешивания фиксировались температура смеси и продолжительность технологического цикла приготовления.

#### Изготовление образцов

Формование осуществлялось в металлических формах. Для испытаний на сжатие использовались образцы кубической формы размером 100×100×100 мм, а для определения истираемости — образцы размером 70×70×40 мм. Заполнение форм производилось без применения вибрационного уплотнения, что позволяло сохранить сформировавшуюся пористую структуру. После укладки поверхность образцов выравнивалась, формы герметизировались полиэтиленовой плёнкой и выдерживались в лабораторных условиях в течение суток[6].

#### Режим твердения

После набора первоначальной прочности образцы извлекались из форм и подвергались естественному твердению при температуре 20–25 °С. Для обеспечения нормального протекания процессов гидратации относительная влажность окружающего воздуха поддерживалась на уровне не ниже 50 %. Соблюдение данного условия имеет принципиальное значение для неавтоклавных ячеистых бетонов. Из-за развитой системы пор такие материалы характеризуются интенсивным испарением влаги, что может приводить к замедлению гидратационных процессов и образованию усадочных дефектов. Поддержание достаточной влажности обеспечивает стабильное формирование структуры цементного камня и позволяет получать воспроизводимые результаты испытаний[7].

#### Определение прочности при сжатии

Испытания проводились через 28 суток твердения согласно требованиям ГОСТ РК 10180-2012. Для нагружения использовался гидравлический пресс с максимальным усилием до 1000 кН. Перед началом испытаний измерялись фактические размеры образцов и выполнялась очистка рабочих поверхностей. Разрушение осуществлялось при равномерном увеличении нагрузки со скоростью, соответствующей нормативным требованиям.

#### Определение истираемости

Оценка стойкости материала к истирающему воздействию выполнялась по методике Беме в соответствии с ГОСТ 13087-2018. Испытания проводились на специальной абразивной установке с использованием кварцевого песка в качестве

стирающего материала[8].

После завершения испытательного цикла образцы очищались от продуктов износа и высушивались до постоянной массы при температуре  $105 \pm 5$  °С. Показатели стираемости определялись по величине потери массы и объёмному износу материала.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Проведённые исследования показали, что введение натриевого сульфоната оказывает заметное влияние на процессы формирования пористой структуры неавтоклавного газобетона. Добавка способствует стабилизации образующихся газовых пузырьков, предотвращая их укрупнение и преждевременное разрушение. Анализ полученных результатов свидетельствует о существовании оптимального диапазона содержания добавки. При недостаточном количестве натриевого сульфоната его влияние на структуру материала выражено незначительно. В то же время чрезмерное увеличение дозировки приводит к образованию избыточного количества мелких пор и снижению прочности межпоровых перегородок. Наиболее благоприятное сочетание показателей плотности и прочности наблюдалось при средних значениях содержания модификатора. В этом случае формировалась более однородная структура материала с равномерным распределением пор по объёму образца. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования натриевого сульфоната в качестве структурообразующей добавки при производстве неавтоклавного газобетона и открывают перспективы дальнейшей оптимизации состава материала[9].

Основные компоненты смеси:

- Портландцемент М500 — основной вяжущий материал (предел прочности на сжатие 42–50 МПа) (Lukranov, R.E. и др. 2021).
- Кварцевый песок — заполнитель с содержанием SiO<sub>2</sub> не менее 90%;
- Алюминиевая пудра — газообразователь со средней активностью 90–95% (Sabitov, Y.Y. и др. 2021)
- Вода — соответствует требованиям ГОСТ РК 13263-2015 на питьевую воду (Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль качества, 2015).
- Сульфонат натрия — добавка, стабилизирующая газовые поры, с формулой:  $C_nH_{2n+1}-C_6H_4-SO_3Na$ ,  $n=10$  (Rahman, Islam & Hoque, 2015).

Пример рецептуры (на 1 м<sup>3</sup> газобетона):

- Портландцемент М500 — 250 кг
- Кварцевый песок — 500 кг
- Вода — 250 л
- Алюминиевая пудра — 0,06–0,08 кг
- Сульфонат натрия — 0,5–1,0 кг

Результаты проведённых исследований показали, ( $R-SO_3Na$ , где R представляет собой органический радикал) что введение натриевого сульфоната в состав неавтоклавного газобетона оказывает положительное влияние на формирование пористой структуры материала. Добавка способствует снижению поверхностной энергии на границе раздела фаз «жидкость–газ», благодаря чему повышается устойчивость образующихся газовых пузырьков и уменьшается вероятность их слияния. Под действием поверхностно-активного вещества происходит более равномерное распределение газовой фазы по всему объёму смеси, что обеспечивает формирование однородной ячеистой структуры. Кроме того, улучшается удобоукладываемость бетонной смеси и повышается стабильность процесса вспучивания в период начального

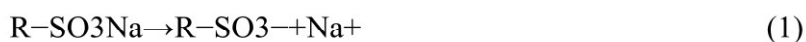
твердения. Механизм действия натриевого сульфоната связан с его способностью адсорбироваться на поверхности газовых пузырьков, образуя защитный слой, препятствующий их коалесценции. В результате структура материала характеризуется меньшим разбросом размеров пор и более равномерным распределением воздушных ячеек[10].

Роль сульфонат натрия в стабилизации газообразования

Химическая формула типичного линейного алкилбензолсульфоната натрия:  $C_nH_{2n+1}-C_6H_4-SO_3Na$

где: n обычно варьируется от 10 до 14 (углеродный скелет "хвоста" молекулы).

При добавлении в водную суспензию сульфонат натрия диссоциирует:



где: R — углеводородная часть молекулы,

$SO_3^-$  — сульфонат-анион,

$Na^+$  — натрий-катион

В результате проведённого анализа был установлен механизм воздействия натриевого сульфоната на процессы формирования пористой структуры газобетонной смеси. Эффективность добавки обусловлена наличием в её составе анионных сульфонатных групп ( $SO_3^-$ ), обладающих выраженными поверхностно-активными свойствами. В процессе газообразования молекулы добавки концентрируются на поверхности образующихся пузырьков водорода, формируя адсорбционный слой. Образование такого слоя способствует возникновению электростатических сил отталкивания между соседними пузырьками, что существенно снижает вероятность их объединения и укрупнения. Благодаря стабилизации газовой фазы обеспечивается сохранение первоначальной дисперсности пор, а также их более равномерное распределение по объёму бетонной смеси. В результате формируется однородная ячеистая структура с улучшенными показателями качества межпоровых перегородок[11].

Полученные данные свидетельствуют о том, что применение натриевого сульфоната положительно влияет на устойчивость процесса порообразования, способствует повышению структурной однородности материала и оказывает благоприятное воздействие на физико-механические характеристики неавтоклавного газобетона.

Таблица 1 – Зависимость газобетона от дозировки сульфонатом натрия

Дозировка сульфонат натрия от массы цемента (%)	Прочность на сжатие через 28 суток (МПа)	Примечание
0 % (без добавки)	1,5–2,0	Базовый уровень
0,05 %	2,0–2,2	Небольшое повышение
0,10 %	2,3–2,5	Оптимальное улучшение структуры
0,12 %	2,5–2,7	Максимальный положительный эффект
0,15 %	2,4–2,6	Лёгкое снижение

		из-за переуплотнения
0,20 %	2,0–2,2	Структура ухудшается, переувлажнение

*Примечание: составлено автором на основе данных по результатам исследований (Беккалиева Н.М., 2025)*

Результаты экспериментальных исследований показали, что наиболее эффективное влияние натриевого сульфоната на свойства неавтоклавного газобетона наблюдается при его содержании в пределах 0,10–0,15 % от массы цемента. В указанном диапазоне обеспечиваются оптимальные условия формирования пористой структуры материала, что приводит к повышению прочности при сжатии на 15–25 % по сравнению с контрольным составом, не содержащим модифицирующую добавку. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что увеличение дозировки натриевого сульфоната сверх оптимального значения отрицательно влияет на структуру газобетона. Данный эффект связан с чрезмерным вовлечением воздуха, нарушением устойчивости процесса вспучивания и изменением реологических характеристик смеси, что приводит к образованию неоднородной пористости и снижению прочностных показателей. Использование натриевого сульфоната направлено на регулирование процессов газообразования и стабилизацию формирующихся пузырьков водорода, образующихся в результате взаимодействия алюминиевой пудры с продуктами гидратации цемента. Благодаря этому обеспечивается более равномерное распределение пор по объёму материала и формирование однородной ячеистой структуры.

Установлено, что максимальные значения прочности достигаются при содержании добавки около 0,12 % от массы вяжущего. При данной концентрации прирост прочности на сжатие составил в среднем 18–20 % относительно контрольных образцов. Повышение прочностных характеристик объясняется улучшением структуры межпоровых перегородок и уменьшением количества крупных дефектных пор. Дополнительно выявлено, что стабилизация процесса порообразования оказывает положительное влияние на теплофизические свойства материала. Более равномерная и мелкопористая структура способствует снижению коэффициента теплопроводности на 10–15 % по сравнению с базовым составом. Это позволяет повысить теплоизоляционную эффективность неавтоклавного газобетона без существенного увеличения его плотности и обеспечивает перспективность применения натриевого сульфоната в технологии производства энергоэффективных стеновых материалов.

Для оценки эффективности применения натриевого сульфоната в технологии производства неавтоклавного газобетона на предприятии ТОО «BatysStroyEngineering» были проведены опытно-производственные исследования. В качестве объекта исследования использовались газобетонные смеси с проектной средней плотностью D700. В рамках эксперимента натриевый сульфонат вводился в состав сухой смеси на стадии подготовки сырьевых компонентов. Такой способ внесения обеспечивает более равномерное распределение добавки по объёму смеси и способствует её эффективному взаимодействию с компонентами вяжущей системы в процессе приготовления газобетона. Для определения оптимального содержания модифицирующей добавки были изготовлены экспериментальные составы с различной концентрацией натриевого сульфоната. Количество добавки изменялось в диапазоне от 0 до 0,15 % от массы цемента. В качестве контрольного был принят состав ГБ1, не содержащий сульфонат натрия. Экспериментальные составы ГБ2, ГБ3 и ГБ4 отличались между собой величиной

вводимой добавки при сохранении неизменными остальных технологических параметров и компонентов смеси. Все исследуемые составы были разработаны для получения газобетона марки по средней плотности D700. При изготовлении образцов соблюдались одинаковые условия дозирования сырьевых материалов, перемешивания, формования и твердения, что позволило объективно оценить влияние натриевого сульфоната на свойства материала.

На основании проведённых испытаний были определены зависимости между количеством вводимой добавки и основными физико-механическими характеристиками газобетона. Анализ полученных результатов позволил уточнить рекомендуемый диапазон дозировок натриевого сульфоната для материалов с расчётной плотностью D700. Сведения о составе исследуемых смесей и результаты испытаний представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – По выбору дозировки сульфонат натрия

Требуемая плотность газобетона (кг/м <sup>3</sup> )	Рекомендуемая дозировка сульфонат натрия (% от массы цемента)	Примечания
300–400	0,12–0,15	Максимально лёгкие и теплоизоляционные блоки, требуется стабильное газообразование
400–500	0,10–0,12	Стеновые блоки с хорошим балансом прочности и теплопроводности.
500–600	0,08–0,10	Более плотные блоки для перегородок и несущих стен в малоэтажном строительстве.
600–700	0,05–0,08	Усиленные блоки с акцентом на прочность, меньшее газообразование.
>700	0-0,05	Конструкционный ячеистый бетон, сульфонат может быть не нужен.

*Примечание: составлено автором на основе данных по результатам исследований (Беккалиева Н.М., 2025)*

Анализ представленных данных показывает, что оптимальное содержание натриевого сульфоната определяется проектной плотностью газобетона. Установлено, что для получения изделий с низкой средней плотностью в диапазоне 300–400 кг/м<sup>3</sup> требуется повышенное количество добавки — порядка 0,12–0,15 % от массы цемента. Это обусловлено необходимостью обеспечения устойчивого процесса порообразования и сохранения равномерно распределённой ячеистой структуры, отвечающей требованиям к теплоизоляционным материалам. Для газобетонов средней плотности 400–500 кг/м<sup>3</sup> эффективное содержание натриевого сульфоната находится в пределах

0,10–0,12 %. Снижение дозировки связано с уменьшением объёма формируемой пористости и необходимостью сохранения баланса между прочностными показателями и теплоизоляционными свойствами материала. Полученные результаты свидетельствуют о наличии зависимости между средней плотностью газобетона и расходом модифицирующей добавки. При уменьшении плотности материала возрастает потребность в натриевом сульфонате, что связано с необходимостью стабилизации большего количества газовых пузырьков и предотвращения их слияния в процессе формирования структуры. Правильный подбор дозировки способствует получению однородной пористой структуры, повышению качества изделий и обеспечению требуемых эксплуатационных характеристик газобетона.

Таблица 3 – Изменение свойств газобетона при введении модифицирующей добавки

Свойство	Изменение	Показатели без добавки	Показатели с добавкой	Комментарий
Пластичность смеси	Увеличивается	14–16 см по осадке конуса	17–19 см	Введение натриевого сульфоната в состав неавтоклавного газобетона оказывает комплексное влияние на технологические и эксплуатационные характеристики материала. Благодаря пластифицирующему действию добавки улучшается удобоукладываемость смеси, повышается её однородность и облегчается процесс формования изделий.
Равномерность пор	Повышается	Размер пор 1,2–1,8 мм	Размер пор 0,8–1,2 мм	Одновременно с этим натриевый сульфат способствует стабилизации процесса газообразования, обеспечивая более равномерное распределение газовых пузырьков по объёму смеси. В результате формируется однородная ячеистая структура с уменьшенным количеством крупных пор и структурных дефектов.

Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>	Снижается	580–600	520–540	Улучшение поровой структуры приводит к снижению средней плотности материала, что положительно сказывается на его теплоизоляционных свойствах. Более равномерное распределение воздушных ячеек способствует повышению сопротивления теплопередаче и улучшению энергоэффективности изделий.
Прочность на сжатие, МПа	Повышается (~5–10 %)	2,8–3,0	3,1–3,3	Дополнительным эффектом применения добавки является уплотнение межпоровых перегородок и совершенствование структуры цементного камня. Это способствует повышению прочности материала и улучшению его эксплуатационной надёжности.
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Уменьшается	0,135–0,145	0,115–0,125	Формирование равномерной мелкопористой структуры также оказывает влияние на теплофизические характеристики газобетона. Снижение плотности при сохранении структурной целостности обеспечивает уменьшение коэффициента теплопроводности по сравнению с контрольными составами.
Водопоглощение,	Немного	32–34	35–37	Следует отметить, что

% по массе	увеличивается			увеличение доли открытых пор в структуре материала может сопровождаться некоторым повышением водопоглощения. Однако при соблюдении оптимальной дозировки натриевого сульфоната данный эффект не оказывает существенного отрицательного влияния на эксплуатационные свойства неавтоклавного газобетона.
------------	---------------	--	--	--

*Примечание: составлено автором на основе данных по результатам исследований (Беккалиева Н.М., 2025)*

Установлено, что при проектировании газобетонов с пониженной средней плотностью возрастает роль процессов стабилизации газообразования. Это связано с необходимостью формирования большего объёма порового пространства при сохранении однородности структуры материала. В связи с этим для низкоплотных составов требуется увеличение содержания натриевого сульфоната, обеспечивающего устойчивость газовых пузырьков и предотвращающего их слияние в процессе вспучивания смеси. Для газобетонов с более высокой средней плотностью потребность в интенсивном порообразовании существенно снижается. В таких составах избыточное выделение газа может привести к нарушению структуры материала, увеличению количества дефектных пор и снижению прочностных характеристик. По этой причине для изделий плотностью свыше 600 кг/м<sup>3</sup> рекомендуется использовать минимальные дозировки натриевого сульфоната, достаточные для обеспечения стабильности структуры без чрезмерного увеличения объёма пор.

Таблица 4 – Составы газобетонных исследуемых образцов с сульфонатом натрия

Компоненты	№ состава				
	ГБ1 (по заводской технологии)	ГБ2	ГБ3	ГБ4	ГБ5
Песок, кг	403	403	403	403	403
Цемент, кг	310	310	310	310	310
Вода, л	260	260	260	260	260
Каустическая сода, кг	3	3	3	3	3
Алюминиевая пудра, гр	550	550	550	550	550
Содержание сульфоната натрия, %	0	0,05	0,10	0,15	0,20

*Примечание: составлено автором на основе данных по результатам исследований (Беккалиева Н.М., 2025)*

Следует отметить, что формирование равномерной и устойчивой пористой структуры определяется не только оптимальным содержанием натриевого сульфоната, но и правильным подбором количества газообразующего компонента. В технологии неавтоклавного газобетона такую функцию выполняет алюминиевая пудра, обеспечивающая выделение водорода в результате взаимодействия со щелочной средой цементного теста. Совместное регулирование дозровок алюминиевой пудры и натриевого сульфоната позволяет контролировать интенсивность газообразования, размеры формирующихся пор и степень их равномерности. При нарушении баланса между указанными компонентами возможно образование неоднородной структуры, сопровождающейся укрупнением пор, расслоением смеси и снижением физико-механических характеристик материала. Поэтому эффективность формирования качественной ячеистой структуры определяется комплексным воздействием газообразователя и стабилизирующей добавки, что наглядно отражено на рисунке 1.



Рисунок 1 – График зависимости прочности газобетона от содержания сульфоната натрия

*Примечание: составлено автором на основе данных по результатам исследований (Беккалиева Н.М., 2025)*

Результаты исследований показали, что максимальные значения прочности неавтоклавного газобетона достигаются при содержании натриевого сульфоната в пределах 0,10–0,15 % от массы цемента. Для оценки влияния добавки были определены основные физико-механические показатели материала: средняя плотность в сухом состоянии, прочность при сжатии и коэффициент конструктивного качества. Результаты испытаний образцов газобетона с различным содержанием натриевого сульфоната представлены на рисунке 2.

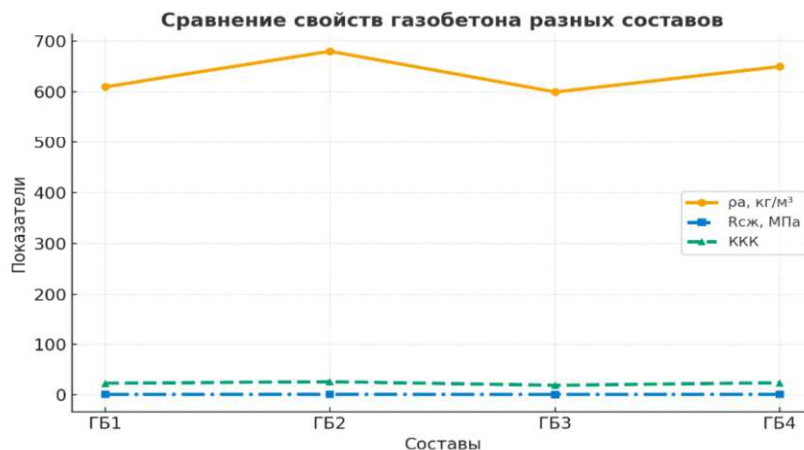


Рисунок 2 – Показатели физико-механических испытаний образцов газобетона с различным количеством сульфата натрия

*Примечание: составлено автором на основе данных по результатам исследований (Беккалиева Н.М., 2025)*

Результаты испытаний показали, что применение натриевого сульфата положительно влияет на прочностные характеристики неавтоклавного газобетона. В зависимости от дозировки добавки прочность при сжатии увеличивалась на 10–45 %, при этом средняя плотность материала возрастала примерно на 12 %. Для оценки эффективности модифицирования были определены коэффициенты конструктивного качества для контрольного состава ГБ1 и состава ГБ4 с оптимальным содержанием добавки. Сравнительные результаты физико-механических испытаний представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Данные физико-механических испытаний образцов газобетона

*Примечание: составлено автором на основе данных по результатам исследования (Беккалиева Н.М., 2025)*

Анализ полученных результатов показал, что состав ГБ4 обладает наибольшим значением коэффициента конструктивного качества. По сравнению с составом ГБ2 данный показатель оказался выше на 20,4 %, а относительно контрольного промышленного состава ГБ1 его увеличение составило 31 %. Полученные данные

свидетельствуют о более эффективном соотношении прочности и плотности материала, что позволило определить состав ГБ4 как наиболее рациональный для дальнейших исследований. Результаты расчётов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты испытаний образцов газобетона на прочность на сжатие с различным количеством сульфата натрия

Наименование показателей, единица измерения	Наименование состава	НД на методы испытаний	Фактические значения
Прочность образца, МПа	ГБ1 (контрольный)	ГОСТ 10180-2012	5,81
	ГБ2		6,1
	ГБ3		6,72
	ГБ4		6,45

*Примечание: составлено автором на основе данных по результатам исследования (Беккалиева Н.М., 2025)*

Процентное содержание добавки в каждом составе представлено в таблице 4.

Экспериментальные исследования выполнены на базе испытательной лаборатории «Строительные материалы и строительная теплофизика» Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета. В лабораторных условиях были проведены все необходимые испытания для определения физико-механических характеристик образцов неавтоклавного газобетона.



Рисунок 4 – Испытаний образцов газобетона на прочность при сжатии

*Примечание: составлено автором на основе данных по результатам исследования (Беккалиева Н.М., 2025)*

Для оценки сопротивления неавтоклавного газобетона абразивному износу были проведены испытания на истираемость в соответствии с требованиями ГОСТ 13087-2018 «Бетоны. Методы определения истираемости». Испытания выполнялись с использованием прибора ИБ-1, предназначенного для определения истираемости

бетонных материалов по величине потери массы. Оборудование обеспечивает стандартизированное абразивное воздействие на поверхность образцов, что позволяет объективно оценить их износостойкость и сравнить эффективность исследуемых составов.

Методика определения истираемости включала подготовку и взвешивание образцов размером 70×70×40 мм до начала испытаний, последующее размещение их в рабочей камере прибора ИБ-1 и воздействие абразивного материала в течение установленного нормативами времени. После завершения испытаний образцы повторно взвешивались, а величина истираемости определялась по потере массы, отнесённой к площади испытываемой поверхности.

Анализ результатов показал, что введение натриевого сульфоната способствует повышению стойкости газобетона к абразивному износу. Образцы, содержащие модифицирующую добавку, характеризовались меньшими значениями истираемости по сравнению с контрольным составом, что свидетельствует об улучшении структуры материала и повышении его эксплуатационной надёжности. Результаты испытаний представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты испытаний образцов газобетона на величина истираемости по изменению массы с различным количеством сульфоната натрия

Наименование показателей, единица измерения	Наименование состава	НД на методы испытаний	Нормы по НД	Фактические значения
Величина истираемости по изменению массы, г/см <sup>2</sup> , не более	ГБ1 (контрольный)	ГОСТ 13087-2018	Не более 0,9	0,84 (марка G2)
	ГБ2			0,76 (марка G2)
	ГБ3			0,71 (марка G1)
	ГБ4			0,75 (марка G1)

*Примечание: составлено автором на основе данных по результатам исследования (Беккалиева Н.М., 2025)*

Анализ результатов, приведённых в таблице 6, показывает, что введение натриевого сульфоната оказывает положительное влияние на износостойкость неавтоклавного газобетона. Контрольный состав ГБ1 без добавки характеризовался истираемостью 0,84 г/см<sup>2</sup> и соответствовал марке G2. При использовании натриевого сульфоната наблюдалось снижение величины истираемости во всех исследуемых составах. Для образца ГБ2 данный показатель уменьшился до 0,76 г/см<sup>2</sup>, что свидетельствует об улучшении стойкости материала к абразивному воздействию. Наиболее выраженный эффект был зафиксирован для состава ГБ3, где истираемость составила 0,71 г/см<sup>2</sup>, что позволило отнести материал к более высокой марке G1. Для состава ГБ4 также отмечено улучшение эксплуатационных характеристик: величина истираемости снизилась до 0,75 г/см<sup>2</sup> при сохранении соответствия марке G1. Полученные результаты подтверждают, что применение натриевого сульфоната способствует повышению плотности и прочности межпоровых перегородок, что

положительно сказывается на сопротивлении материала механическому износу.

Величина истираемости по изменению массы газобетона с различным количеством сульфоната натрия

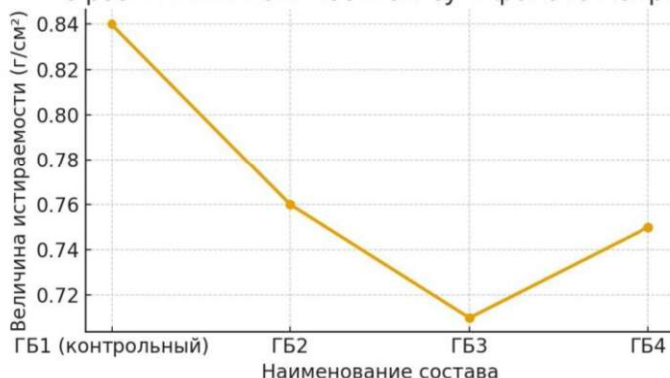


Рисунок 5 – Диаграмма показателей образцов газобетона на истираемость

*Примечание: составлено автором на основе данных по результатам исследования (Беккалиева Н.М., 2025)*

Согласно данным, представленным на диаграмме, увеличение содержания натриевого сульфоната в составе газобетона сопровождается снижением показателя истираемости. Минимальное значение было зафиксировано у образца ГБ3 и составило 0,71 г/см<sup>2</sup>, тогда как для контрольного состава ГБ1 данный показатель достигал 0,84 г/см<sup>2</sup>. Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии добавки на износостойкость материала.



Рисунок 6 – Испытания образцов газобетона на величину истираемости

*Примечание: составлено автором на основе данных по результатам*

*исследования (Беккалиева Н.М., 2025)*

**Заключение.** Проведённые исследования подтвердили эффективность применения натриевого сульфоната в технологии производства неавтоклавного газобетона. Установлено, что введение добавки способствует стабилизации процесса газообразования, формированию более однородной пористой структуры и улучшению качества межпоровых перегородок. Экспериментальные результаты показали, что оптимальное содержание натриевого сульфоната находится в пределах 0,10–0,15 % от массы цемента. При данной дозировке наблюдается повышение прочности при сжатии, улучшение коэффициента конструктивного качества и снижение истираемости по сравнению с контрольными образцами. Установлено, что применение натриевого сульфоната способствует получению газобетона со средней плотностью 400–500 кг/м<sup>3</sup> при сохранении прочности на уровне 2,5–2,7 МПа. При этом обеспечивается более равномерное распределение пор, снижение теплопроводности и повышение эксплуатационной надёжности материала. Результаты испытаний также показали положительное влияние добавки на износостойкость газобетона. Наименьшие значения истираемости были получены для составов с оптимальной дозировкой модификатора, что свидетельствует об улучшении структуры цементного камня и повышении долговечности изделий. Таким образом, использование натриевого сульфоната является перспективным способом совершенствования технологии неавтоклавного газобетона. Предложенное решение позволяет повысить физико-механические характеристики материала, снизить его массу и улучшить теплоизоляционные свойства без применения энергоёмкой автоклавной обработки. Полученные результаты могут быть использованы при разработке эффективных стеновых и теплоизоляционных изделий для гражданского и промышленного строительства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Lukpanov, R.E., Dyusseminov, D., Shakhmov, Z., Tsygulyov, D., Yenkebayev, S. Influence of the technological foam concrete manufacturing process on its pore structure //Magazine of Civil Engineering. —2022.- 2024-09-30.DOI: 10.55956/ZSWL8979
- 2 Lukpanov, R.E., Duseminov, D.S., Yenkebayev, S.B., Tsygulyov, D.V. «Ratio of the ash concentration to the cement binder in the composition of concrete with the use of a modified additive». // Journal of Physics: Conference Series. —2021.- 2024-06-30. DOI: 10.55956/VCZA6932
- 3 Sabitov, Y.Y., Dyusseminov, D.S., Zhumagulova, A.A., Bazarbayev, D.O., Lukpanov, R.E. «Composite non-autoclaved aerated concrete based on an emulsion» // Magazine of Civil Engineering. —2021.
- 4 Lukpanov, R., Dyusseminov, D., Altynbekova, A., Yenkebayev, S., Zhumagulova, A. «Investigation of Effect of Proposed Two-Stage Foam Injection Method and Modified Additive on Workability of Foam Concrete» //Materials—2024. - 2024-09-30. DOI: 10.55956/ZSWL8979
- 5 Rahman, M.M., Islam, M.S., Hoque, M.M. "Effect of surfactant type on properties of aerated concrete." // Construction and Building Materials. — 2015. — Vol. 101. — P. 50–57.
- 6 ГОСТ 31359-2007. Бетоны ячеистые. Общие технические условия. — М.: Стандартинформ, 2009.
- 7 ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. — М.: Издательство стандартов, 1985.
- 8 ГОСТ РК 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. — Астана: КазСтандарт, 2014. – 24 с.

9 ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности. – Астана: КазСтандарт, 2012. – 40 с.

10 ГОСТ 13087-2018. Бетоны. Методы определения истираемости. – Астана: КазСтандарт, 2018. – 36 с.

11 ГОСТ 13263-2015. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль качества. – Астана: КазСтандарт, 2015. – 28 с.

## REFERENCES

1. Lukpanov, R. E., Dyusseminov, D., Shakhmov, Z., Tsygulyov, D., Yenkebayev, S. Influence of the technological foam concrete manufacturing process on its pore structure // Magazine of Civil Engineering. – 2022. – Vol. 109, no. 1. – Article 10907. <https://doi.org/10.55956/ZSWL8979>

2. Lukpanov, R. E., Duseminov, D. S., Yenkebayev, S. B., Tsygulyov, D. V. Ratio of the ash concentration to the cement binder in the composition of concrete with the use of a modified additive // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1928. – Article 012034. <https://doi.org/10.55956/VCZA6932>

3. Sabitov, Y. Y., Dyusseminov, D. S., Zhumagulova, A. A., Bazarbayev, D. O., Lukpanov, R. E. Composite non-autoclaved aerated concrete based on an emulsion // Magazine of Civil Engineering. – 2021. – Vol. 105, no. 5. – Article 10512.

4. Lukpanov, R., Dyusseminov, D., Altynbekova, A., Yenkebayev, S., Zhumagulova, A. Investigation of Effect of Proposed Two-Stage Foam Injection Method and Modified Additive on Workability of Foam Concrete // Materials. – 2024. – Vol. 17, no. 5. – Article 1089. <https://doi.org/10.55956/ZSWL8979>

5. Rahman, M. M., Islam, M. S., Hoque, M. M. Effect of surfactant type on properties of aerated concrete // Construction and Building Materials. – 2015. – Vol. 101. – P. 50–57.

6. GOST 31359-2007. Betony yacheistye. Obshchie tekhnicheskie usloviya. [Cellular concretes. General specifications.]. – M.: Standartinform, (2009): – (In Rus)

7. GOST 10178-85. Portlandcement i shlakoportlandcement. Tekhnicheskie usloviya. [Portland cement and portland blastfurnace slag cement. Specifications.]. – M.: Izdatel'stvo standartov, (1985): – (In Rus)

8. GOST RK 8736-2014. Pesok dlya stroitel'nyh rabot. Tekhnicheskie usloviya. [Sand for construction works. Specifications.]. – Astana: KazStandart, (2014): – 24 s. – (In Rus)

9. GOST 10180-2012. Betony. Metody opredeleniya prochnosti. [Concretes. Methods for determination of strength.]. – Astana: KazStandart, (2012): – 40 s. – (In Rus)

10. GOST 13087-2018. Betony. Metody opredeleniya istiraemosti. [Concretes. Methods for determination of abrasion.]. – Astana: KazStandart, (2018): – 36 s. – (In Rus)

11. GOST 13263-2015. Voda pit'evaya. Gigienicheskie trebovaniya i kontrol' kachestva. [Drinking water. Hygienic requirements and quality control.]. – Astana: KazStandart, (2015): – 28 s. – (In Rus)