

МРНТИ 67.09.33

DOI: <https://doi.org/10.62724/202610702>

Беккалиев Нурлан Мейрамович*¹

магистр технических наук,

Западно Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск,
Казахстан, Nurlan_b-90@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7745-1358

Сабитов Ерлан Енжилович²

кандидат технических наук,

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
e_sabitov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3784-8657

Скрипикова Нелли Карповна³

доктор технических наук,

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

ВЛИЯНИЕ ДОБАВЛЕНИЯ СУЛЬФОНАТ НАТРИЯ НА НЕАВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН

Аннотация. В данной работе рассматриваются особенности получения неавтоклавного газобетона с применением добавки сульфоната натрия, используемой для стабилизации процесса газообразования в составе бетонной смеси. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения качества и эксплуатационных характеристик газобетонных изделий при одновременном снижении энергозатрат на их производство за счет отказа от автоклавной обработки.

В работе проанализированы основные химические механизмы газообразования, происходящие в процессе формирования пористой структуры материала, а также рассмотрена роль поверхностно-активной добавки в стабилизации газовых пузырьков и равномерном распределении пор в структуре газобетона. Особое внимание уделено влиянию сульфоната натрия на процессы структурообразования, формирование пористости и физико-механические свойства получаемого материала. В результате проведенных экспериментальных исследований определены оптимальные дозировки добавки в зависимости от проектируемой плотности изделий. Установлено, что применение сульфоната натрия способствует улучшению поровой структуры, повышению прочности и одновременному снижению средней плотности неавтоклавного газобетона, что позволяет повысить эффективность его использования в строительстве.

Ключевые слова. Газобетон, сульфонат натрия, неавтоклавное твердение, алюминиевая пудра, ячеистая структура.

Беккалиев Нурлан Мейрамович*¹

техника ғылымдарының магистрі,

Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан,
Nurlan_b-90@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7745-1358

Сабитов Ерлан Енжилович²

техника ғылымдарының кандидаты,

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

e_sabitov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3784-8657

Скрипикова Нелли Карповна³

техника ғылымдарының докторы,

Томск мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті, Томск, Ресей, nks2003@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0003-3384-9564

АВТОКЛАВТАЛМАҒАН ГАЗОБЕТОНҒА СУЛЬФОНАТ НАТРИЙ ҚОСУДЫҢ ӘСЕРІ

Аңдатпа. Бұл жұмыста қоспа құрамында газ түзілу процесін тұрақтандыру үшін қолданылатын натрий сульфонаты қосылған автоклавсыз газбетонды алу ерекшеліктері зерттеледі. Зерттеудің өзектілігі автоклавтық оңдеуден бас тарту арқылы өндірістегі энергия шығынын азайта отырып, газбетон бұйымдарының сапасы мен пайдалану қасиеттерін арттыру қажеттілігімен байланысты. Жұмыста материалдың кеуекті құрылымының қалыптасуы барысында жүретін газ түзілуінің негізгі химиялық механизмдері қарастырылған. Сонымен қатар, беттік-белсенді қоспаның газ көпіршіктерін тұрақтандырудағы және газбетон құрылымында кеуектердің біркелкі таралуын қамтамасыз етудегі рөлі талданады.

Зерттеу барысында натрий сульфонатының материалдың құрылым түзілу процесіне, кеуектіліктің қалыптасуына және алынатын материалдың физика-механикалық қасиеттеріне әсері анықталды. Эксперименттік нәтижелер негізінде жобаланатын бұйымдардың тығыздығына байланысты қоспаның оңтайлы мөлшері белгіленді. Зерттеу нәтижелері натрий сульфонатын қолдану автоклавсыз газбетонның кеуекті құрылымын жақсартып, оның беріктігін арттыратынын және орташа тығыздығын төмендететінін көрсетті. Бұл материалды құрылыс саласында тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер. Газдалған бетон, натрий сульфонаты, автоклавталмаған қатаю, алюминий ұнтағы, кеуекті құрылым.

Bekkaliyev Nurlan Meiramovich^{*1}

master of technical sciences,

West Kazakhstan Innovation and Technology University,

Uralsk, Kazakhstan, Nurlan_b-90@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7745-1358

Sabitov Yerlan Enzhilovich²

candidate of technical sciences,

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

e_sabitov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3784-8657

Skripikova Nelli Karpovna³

Doctor of Technical Sciences, Professor,

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

nks2003@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3384-9564

THE EFFECT OF SODIUM SULFONATE ADDITION ON NON-AUTOCLAVED AERATED CONCRETE

Abstract. This study investigates the features of producing non-autoclaved aerated concrete with the addition of sodium sulfonate, which is used to stabilize the gas-formation process in the mixture. The relevance of the research is associated with the need to improve the quality and performance characteristics of aerated concrete products while reducing energy consumption in production by eliminating autoclave curing. The paper analyzes the main chemical mechanisms of gas formation that occur during the development of the porous structure of the material. In addition, the role of the surfactant additive in stabilizing gas bubbles and ensuring a uniform distribution of pores in the aerated concrete structure is considered.

Particular attention is paid to the influence of sodium sulfonate on the processes of structure formation, pore development, and the physical and mechanical properties of the resulting material. Based on experimental studies, the optimal dosage of the additive depending on the designed density of the products has been determined. The results show that the use of sodium sulfonate improves the pore structure, increases the strength, and simultaneously reduces the average density of non-autoclaved aerated concrete, which enhances its efficiency and prospects for application in construction.

Key words. Aerated concrete, sodium sulfonate, non-autoclave hardening, aluminum powder, cellular structure.

Введение. Ячеистые бетоны считаются одними из наиболее востребованных материалов в современном строительстве благодаря их малому удельному весу, высоким теплоизоляционным свойствам и удовлетворительной прочности (Lukranov R и др., 2024). Среди разновидностей данных материалов особое значение имеет неавтоклавный газобетон, технология производства которого не требует сложного и дорогостоящего автоклавного оборудования (Lukranov R и др., 2024).

Одной из ключевых технологических проблем при производстве такого материала остаётся стабилизация газовой структуры в процессе твердения. Эффективным решением в данном направлении является использование сульфонат натрия — анионного ПАВ, способствующего формированию равномерной ячеистой структуры (Rahman, Islam & Noque, 2015).

На практике в рецептуры неавтоклавного газобетона нередко вводят модифицирующие добавки. В их числе особенно перспективным является сульфонат натрия (Na–SO₃-соединения), выполняющий одновременно функции поверхностно-активного компонента, пластификатора и регулятора структуры пор.

Материалы и методы исследований.

Материалы и составы

В качестве основного газообразующего компонента в исследованиях применялась тонкодисперсная алюминиевая пудра марки ПАК-3, характеризующаяся высокой реакционной способностью в щелочной среде цементного теста и обеспечивающая стабильное выделение газообразного водорода при взаимодействии с гидроксидом кальция.

В качестве вяжущего был использован портландцемент марки М500. В качестве мелкого заполнителя был применён кварцевый песок с размером частиц не более 2,5 мм. В качестве химической добавки был использован натриевый сульфонат, который вводился в количестве 0,5; 0,10; 0,15; 0,20 и 0,25 % от массы цемента. Водоцементное отношение (В/Ц) было принято постоянным для всех составов и составляло 0,45. Для каждой дозы добавки было изготовлено не менее трёх параллельных образцов для испытания прочности и трёх — для испытания на истираемость.

Экспериментальные испытания проводились с целью оценки эффективности применения сульфоната натрия в составе неавтоклавного газобетона и определения его влияния на прочностные и эксплуатационные характеристики материала. Основное внимание в ходе исследований было уделено изменению прочности при сжатии и показателей истираемости в зависимости от введения добавки.

Приготовление смесей

Пропорции компонентов были рассчитаны на один замес, исходя из массы цемента, песка и воды. Натриевый сульфат предварительно был растворён в части воды затворения, после чего полученный раствор был добавлен к основной воде. Сухие компоненты были перемешаны в лабораторном смесителе в течение 60–90 секунд, затем был введён раствор сульфоната и перемешивание было продолжено ещё 2–3 минуты до получения однородной консистенции. После этого была зафиксирована температура смеси и общее время замеса.

Формование образцов

Образцы для испытаний были сформованы в металлические формы размером 100×100×100 мм (для прочности) и 70×70×40 мм (для истираемости). Смесь была уложена в формы в один-два слоя с лёгким уплотнением штыкованием без вибрации. Поверхность была выровнена шпателем, после чего формы были укрыты полиэтиленовой плёнкой и выдержаны 24 ± 4 часа при температуре (20 ± 2) °С.

Твердение

Через 24–48 часов была проведена распалубка образцов. Относительная влажность воздуха на уровне не ниже 50 % была принята с целью обеспечения нормального протекания процессов гидратации цемента в условиях естественного твердения. При более низкой влажности происходит интенсивное испарение влаги с поверхности образцов, что может приводить к преждевременному высыханию цементного камня, нарушению формирования гидратационных новообразований и появлению усадочных микротрещин. Поддержание относительной влажности не ниже 50 % позволяет сохранить в системе достаточное количество свободной воды, необходимой для протекания гидратационных реакций в ранние и последующие сроки твердения. Это особенно важно для неавтоклавного газобетона, обладающего развитой пористой структурой и повышенной склонностью к потере влаги.

Таким образом, выбранные условия твердения (температура 20–25 °С и относительная влажность не ниже 50 %) обеспечивают воспроизводимость экспериментальных результатов и соответствуют условиям нормального твердения цементных материалов.

Испытание на прочность при сжатии

Испытания на прочность при сжатии были проведены на 28-е сутки в соответствии с требованиями ГОСТ РК 10180-2012. В качестве оборудования был использован гидравлический пресс с диапазоном нагрузки до 1000 кН. Перед испытанием поверхности образцов были очищены, геометрические размеры были измерены. Нагрузка прикладывалась с постоянной скоростью 0,5–0,8 МПа/с до разрушения образца.

Испытание на истираемость

Испытания на истираемость были выполнены согласно ГОСТ 13087-2018 (метод Беме). Для испытаний были использованы образцы размером 70×70×40 мм. Поверхность образцов была подготовлена в соответствии со стандартом. В работе был применён прибор Беме — вращающийся диск с абразивом (кварцевый песок фракции 0,5–1,0 мм). Нагрузка составляла около 294 Н (30 кгс). Испытания были проведены при стандартном числе двойных ходов, согласно требованиям нормативной документации. После

завершения испытаний образцы были очищены и высушены при температуре (105 ± 5) °С до постоянной массы.

Результаты испытаний могут быть выражены через потерю массы Δm (г) и/или объемное истирание $\Delta V = \Delta m/\rho$ (см³), пересчитанные на испытанную поверхность. Для каждой серии было определено среднее значение ($n \geq 3$).

Зависимость прочности газобетона от дозировки сульфат натрия

Добавление сульфата натрия оказывает значительное влияние на качество структуры пор, что, в свою очередь, сказывается на конечной прочности материала (табл. 1). Было сделано наблюдение, что существует оптимальная зона дозировки добавки: при недостаточном количестве эффект стабилизации газообразования выражены слабо, тогда как избыток приводит к ухудшению прочности из-за чрезмерного образования мелких пор.

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 SiO₂ 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).
- Сульфат натрия — добавка, стабилизирующая газопоры, с формулой: $C_{n+1}H_{2n+1}-C_6H_4-SO_3Na$, $n=10-14$ (Rahman, Islam & Hoque, 2015).

Пример рецептуры (на 1 м³ газобетона):

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

В ходе экспериментов было установлено, что введение сульфата натрия (R–SO₃Na, где R представляет собой органический радикал) способствует равномерному распределению газовых пузырьков в массе смеси. Это достигается за счёт снижения поверхностного натяжения воды, что улучшает пластичность состава и способствует формированию однородной пористой структуры.

Роль сульфат натрия в стабилизации газообразования

Химическая формула типичного линейного алкилбензолсульфоната натрия:



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

При добавлении в водную суспензию сульфат натрия диссоциирует:



где: R — углеводородная часть молекулы,

SO₃⁻ — сульфат-анион,

Na⁺ — натрий-катион

В ходе анализа было сделано выяснение механизма действия добавки:

- анионные группы SO_3^- проявляют высокую поверхностную активность;
- они адсорбируются на поверхности пузырьков выделяющегося водорода;
- за счёт этого создаётся электростатический барьер, препятствующий их слипанию;

- в результате было сделано формирование устойчивой структуры, обеспечивающей равномерное распределение газовых пор.

Таким образом, подтверждено влияние сульфоната натрия на повышение стабильности газовой фазы в смеси, что способствует образованию равномерной ячеистой структуры и на прочностные 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)

В ходе проведённых исследований была установлена, эффективность дозировки сульфонатом натрия в пределах 0,10–0,15 % от массы цемента (Бетоны ячеистые. Общие технические условия, 2009), (Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия, 1985). Было выявлено, что введение добавки в указанных пределах способствует повышению прочности материала на 15–25 % по сравнению с контрольной смесью без модификатора.

При превышении оптимального содержания сульфоната натрия было сделано наблюдение ухудшения структуры газобетона, что объясняется нестабильным вспучиванием и переувлажнением массы в процессе газообразования. Применение данной добавки было сделано с целью обеспечения формирования более однородной и прочной структуры, обладающей улучшенными теплоизоляционными свойствами. Это достигается благодаря стабилизации водородных пузырьков, образующихся при реакции алюминиевой пудры с гидроксидом кальция, что способствует равномерному распределению пор по объёму материала. Прочность неавтоклавного газобетона зависела от содержания сульфоната натрия и достигала максимума при 0,12 % от массы вяжущего, что обеспечивало рост прочности на сжатие на 18–20 % по сравнению с контрольными образцами.

Установлено, что улучшенная стабилизация газообразования была сделана фактором, способствующим формированию равномерной пористости, в результате чего коэффициент теплопроводности материала снижается на 10–15 % по сравнению с базовым составом (Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия, 1985) и (Песок для строительных работ. Технические условия, 2014).

Результаты и их обсуждение.

В рамках действующего производственного процесса на предприятии ТОО «BatysStroyEngineering» в технологическую схему приготовления газобетонной смеси с расчётной плотностью D700 было внедрено использование сульфоната натрия в качестве ускорителя твердения и структурообразующей добавки. Предложено вводить сульфонат натрия непосредственно в сухую компонентную смесь.

Для определения степени влияния данной добавки на физико-механические свойства материала был проведён эксперимент, в ходе которого варьировалось количество сульфоната натрия от 0 % до 0,15 % от массы цемента. Контрольным образцом служил состав ГБ1 без добавки, тогда как образцы ГБ2, ГБ3 и ГБ4 содержали соответствующее количество сульфоната натрия. Все составы были изготовлены при расчётной плотности D700 (Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия, 1985).

Рекомендуемое количество сульфоната натрия было сделано уточнением с учётом заданной плотности конечного продукта (Бетоны ячеистые. Общие технические условия, 2009), что представлено в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – По выбору дозировки сульфонат натрия

Требуемая плотность газобетона (кг/м ³)	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)

Из таблицы видно, что рекомендуемая дозировка сульфоната натрия зависит от плотности газобетона. Для наиболее лёгких блоков с плотностью 300–400 кг/м³ оптимальная дозировка составляет 0,12–0,15 % от массы цемента, что обеспечивает стабильное газообразование и высокую теплоизоляцию. При увеличении плотности до 400–500 кг/м³ дозировка снижается до 0,10–0,12 %, так как плотные блоки требуют меньшее количество газообразователя для поддержания равномерной структуры. Таким образом, существует прямая зависимость: чем ниже плотность, тем выше расход сульфоната натрия для сохранения качественной пористой структуры.

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	Повышение пластичности улучшает формуемость и однородность смеси.
Равномерность пор	Повышается	Размер пор 1,2–1,8 мм	Размер пор 0,8–1,2 мм	Более стабильная и однородная структура пор за счёт стабилизации газообразования
Объемная масса, кг/м ³	Снижается	580–600	520–540	Материал становится легче, повышается теплоизоляционная способность.
Прочность на сжатие, МПа	Повышается (~5–10 %)	2,8–3,0	3,1–3,3	Уплотнение структуры и улучшение связей между новообразованиями цементного камня.
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Уменьшается	0,135–0,145	0,115–0,125	Снижение плотности и улучшение равномерности пор уменьшает теплопроводность.
Водопоглощение, % по массе	Немного увеличивается	32–34	35–37	Повышение открытой пористости способствует незначительному росту водопоглощения.

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

При снижении требуемой плотности газобетона возрастает необходимость в усиленной стабилизации газовой фазы, что требует увеличения дозировки сульфат натрия.

Для составов с повышенной плотностью (более 600 кг/м³) чрезмерное газообразование нежелательно, поэтому количество добавки должно быть минимальным.

Таблица 4 – Составы газобетонных исследуемых образцов с сульфатом 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 сульфата натрия, %	0	0,05	0,10	0,15	0,20

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

Эффективность получения однородной структуры зависит не только от точного дозирования сульфат натрия, но и от корректного соотношения газообразующего компонента — алюминиевой пудры (рис. 1).

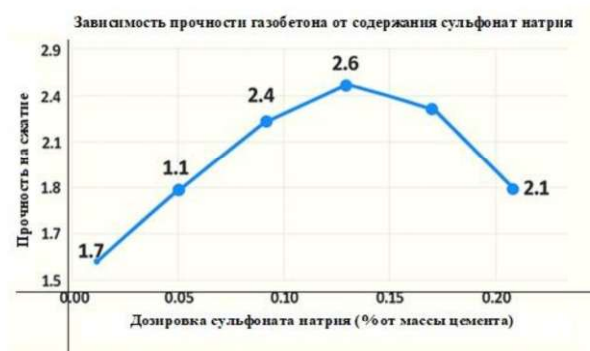


Рисунок 1 – График зависимости прочности газобетона от содержания сульфат натрия

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

Максимальная прочность достигается при дозировке около 0,10–0,15 %.

Все сравнительные испытания проводились по нижеперечисленным показателями: в сухом виде средняя плотность ρ_a ; прочность на сжатие; коэффициент конструктивного качества. Результаты физико-механических испытаний образцов газобетона с различным количеством сульфатом натрия представлены на рис. 2.

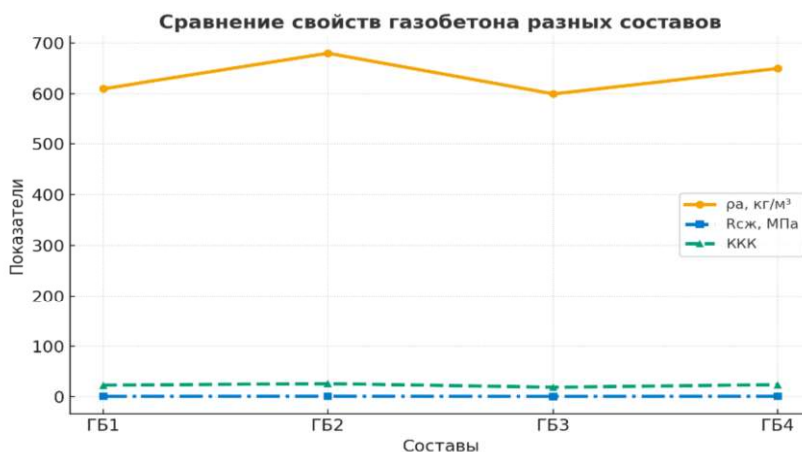


Рисунок 2 – Показатели физико-механических испытаний образцов газобетона с различным количеством сульфата натрия

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

Проведённые исследования показали, что введение сульфатом натрия в состав неавтоклавного газобетона способствует увеличению прочности на сжатие в диапазоне от 10 до 45 %, одновременно повышая его плотность приблизительно на 12 %. Для объективного анализа эффективности данной технологии и её воздействия на формирование структуры материала были рассчитаны коэффициенты конструктивного качества (ККК) для двух типов составов: контрольного (ГБ1) и оптимального (ГБ4). Результаты физико-механических испытаний этих образцов 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)

Согласно результатам расчётов, коэффициент конструктивного качества у состава ГБ4 оказался на 20,4 % выше по сравнению с ГБ2 и на 31 % превышает аналогичный показатель у промышленного образца ГБ1 (ГБ1 — контрольный, ГБ4 — состав с наилучшими показателями). Это позволило классифицировать состав ГБ4 как оптимальный и использовать его в последующих этапах исследований (табл. 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.

Испытания были проведены на базе Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета в испытательной лаборатории «Строительных материалов и строительной теплофизики».



Рисунок 4 – Испытаний образцов газобетона на прочность при сжатии

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

Для определения устойчивости газобетона к механическому истиранию проведены лабораторные испытания. в соответствии с требованиями ГОСТ 13087-2018 (Бетоны. Методы определения истираемости, 2018).

Испытания выполнялись на оборудовании «Прибор для определения истираемости бетона по изменению массы» модели ИБ-1, обеспечивающем контролируемое воздействие абразивного материала на поверхность образцов.

Методика испытаний включала следующие этапы:

- и взвешивание образцов стандартного размера (70×70×40 мм) до начала испытания;
- помещение образцов в барабан прибора ИБ-1;
- проведение истирания абразивными телами в течение заданного времени;
- взвешивание образцов после испытания и определение величины истираемости по изменению массы (г/см²).

Результаты показали, что образцы газобетона с введением добавки сульфат натрия, обладают меньшей величиной истираемости по сравнению с контрольными, что свидетельствует о повышенной износостойкости материала. (табл. 6).

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

Наименование показателей, единица измерения	Наименование состава	НД на методы испытаний	Нормы по НД	Фактические значения
Величина истираемости по изменению массы, г/см ² , 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)

На основании данных, представленных в таблице 6, можно сделать вывод о влиянии добавки сульфата натрия на истираемость газобетонных образцов. Контрольный состав (ГБ1), не содержащий добавки, показал истираемость на уровне 0,84 г/см², что соответствует марке G2 по ГОСТ 13087-2018 (Rahman, Islam & Ноқе, 2015). Добавление сульфата натрия в составах ГБ2–ГБ4 привело к заметному снижению величины истираемости. Так, образец ГБ2 продемонстрировал снижение истираемости до 0,76 г/см², что также соответствует марке G2, но свидетельствует о некотором улучшении показателя по сравнению с контрольным образцом. Наибольшее снижение истираемости наблюдается у образца ГБ3, где данный показатель составил 0,71 г/см², что позволило отнести его уже к марке G1, то есть к более высокому классу по стойкости к истиранию. Аналогичный эффект наблюдается и у состава ГБ4 (0,75 г/см², марка G1), что подтверждает стабильное положительное влияние добавки на износостойкость материала.

Величина истираемости по изменению массы газобетона с различным количеством сульфата натрия

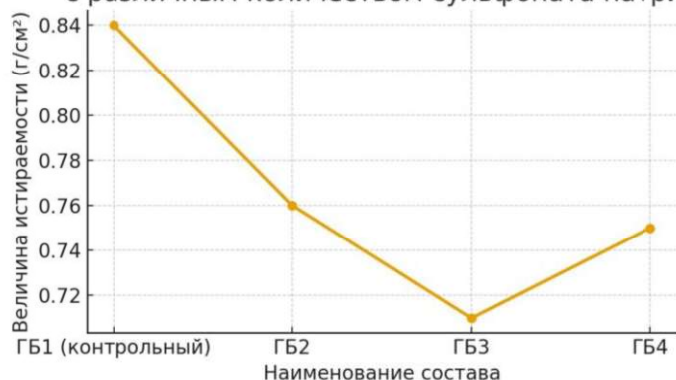


Рисунок 5 – Диаграмма показателей образцов газобетона на истираемость

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

Диаграмма показывает, что с увеличением количества сульфата натрия истираемость газобетона уменьшается: от 0,84 г/см² у контрольного образца до 0,71 г/см² у состава ГБ3.



Рисунок 6 – Испытания образцов газобетона на величину истираемости

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

Заключение. Основное направление проведённых исследований заключалось в изучении влияния добавки сульфата натрия на свойства неавтоклавного газобетона и определении оптимальных параметров его применения для получения лёгких и прочных строительных материалов, соответствующих современным требованиям строительства жилых и промышленных зданий.

В процессе испытаний установлено, что добавление сульфата натрия способствует улучшению структуры неавтоклавного газобетона за счёт более равномерного распределения газовых пор и повышения плотности межпоровых перегородок. Эти структурные изменения оказывают прямое влияние на формирование более прочного цементного камня, что приводит к увеличению прочности при сжатии

по сравнению с контрольными образцами без добавки.

Одновременно с ростом прочностных характеристик применение сульфоната натрия положительно влияет на сопротивляемость материала абразивному износу. Снижение дефектности поверхностных слоёв и повышение целостности структуры способствуют уменьшению потери массы при испытаниях на истираемость, что свидетельствует о повышении эксплуатационной устойчивости неавтоклавного газобетона.

Таким образом, проведённые испытания подтверждают, что использование сульфоната натрия в качестве модифицирующей добавки является эффективным способом повышения прочности и износостойкости неавтоклавного газобетона за счёт оптимизации процессов структурообразования.

В работе особое внимание уделялось физико-механическим свойствам газобетона: прочности на сжатие, плотности, равномерности пористой структуры, устойчивости к истиранию и теплоизоляционным характеристикам. Для улучшения свойств материала применялось введение сульфоната натрия в диапазоне 0,10–0,15 % от массы цемента, что позволило стабилизировать газовую фазу и обеспечить формирование равномерной ячеистой структуры.

Результаты проведённых испытаний показали, что при соблюдении оптимальных технологических параметров достигается снижение плотности газобетона до 400–500 кг/м³ при сохранении прочностных характеристик на уровне 2,5–2,7 МПа. Одновременно наблюдается повышение однородности структуры и стойкости материала к механическому истиранию, что положительно сказывается на долговечности изделий.

Разработанная технология позволяет отказаться от энергоёмкого автоклавного твердения без снижения эксплуатационных свойств газобетона, что делает производство более экономически эффективным и экологически безопасным. Введение сульфоната натрия способствует:

- повышению прочностных и теплоизоляционных характеристик;
- снижению плотности и веса изделий;
- улучшению однородности пористой структуры;
- снижению себестоимости производства и увеличению конкурентоспособности продукции.

Полученные результаты подтверждают возможность применения технологии производства неавтоклавного газобетона с использованием сульфоната натрия в промышленном строительстве. В дальнейшем данные результаты могут быть использованы для разработки рецептур легких и теплоизоляционных блоков с заданными прочностными характеристиками, а также для совершенствования технологий получения газобетона с улучшенными эксплуатационными свойствами для различных конструктивных элементов зданий и сооружений.

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.: Стандартиформ, 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). 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). 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). 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. 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 work. Specifications.]. Astana: KazStandart, (2014): — 24 s. — (In Rus)
9. GOST 10180-2012. Betony. Metody opredeleniya prochnosti. [Concretes. Methods for strength determination.]. 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)