

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Сулейманова Карима Абдуллаевича на тему:
«Совершенствование технологии газобетона в доавтоклавный период»,
представленную к защите на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
2.1.5. Строительные материалы и изделия**

На отзыв представлены:

- диссертационная работа, состоящая из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, содержащего 226 наименований, 11 приложений; объем работы изложен на 230 страницах машинописного текста, включающего 31 таблицу, 105 рисунков;
- автореферат диссертации на 20 страницах.

Актуальность диссертационной работы

Стратегией развития строительного комплекса в России до 2030 г. с прогнозом до 2035 г. предусматривается формирование высокотехнологичных и сбалансированных производств с интегрированными управляемыми процессами на всех этапах жизненного цикла строительной продукции. Предполагается реализация эффективных мер по ресурсному обеспечению объектов строительства строительными материалами высокого качества, с максимальным использованием местного природного сырья. В соответствии с проектом «Жилье и городская среда» доля малоэтажного жилищного строительства в России к 2030 г. увеличится на 40 % от общего объема строительства жилья. Особое внимание при реализации данного проекта отводится индивидуальному жилищному строительству (ИЖС), обладающему рядом преимуществ: отсутствие необходимости привлечения значительных человеческих ресурсов, тяжелой и специальной техники, сокращение сроков строительства. Повышается спрос на пористые стеновые материалы для ограждающих конструкций с высокой теплозащитой домов и обеспечением благоприятного микроклимата в помещениях для проживания. Привлекательным для реализации поставленных задач являются изделия из цементного газобетона автоклавного твердения.

Актуальность проведенного исследования в диссертационной работе обусловлена потребностью в совершенствовании технологии производства газобетона, повышении качества и долговечности газобетонных изделий, используемых при строительстве энергоэффективных зданий. Для этого необходимо оптимизировать технологические процессы, особенно в доавтоклавный период. Особую важность приобретает разработка методов управления процессами порообразования и гидратации цемента, что непосредственно влияет на структуру и эксплуатационные характеристики стенового материала. Важной составляющей диссертационной работы является исследование тепловых процессов, протекающих в газобетонных смесях в доавтоклавный период. Совершенствование термических режимов

твердения массива позволит не только предотвратить образование крупных пор и структурных дефектов, но и повысить физико-механические свойства материала при сохранении его средней плотности.

Значимость диссертационной работы Сулейманова Карима Абдуллаевича заключается в разработке системы управления структурообразованием газобетона в доавтоклавный период и повышении его качества при использовании в ограждающих конструкций, что особенно актуально в условиях усиления требований к теплотехническим, экологическим и экономическим показателям строительства. Актуальность избранной темы диссертационной работы подтверждается также выполнением исследований по Программе «Приоритет 2030» в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова, Пр-10/22.

Общая характеристика работы

Во **введении** автором обосновывается актуальность выполненной работы; показана степень ее разработанности; сформулированы **цель и задачи исследования**, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Отражены основные положения, выносимые на защиту, сведения о степени достоверности полученных результатов, приведены данные по апробации и внедрению результатов работы.

Цель работы – разработка научно-обоснованного технологического решения, обеспечивающего получения газобетона высокоорганизованной структуры с повышенными физико-механическими характеристиками за счет оптимизации порообразования и термических процессов в газобетонной смеси. **Основной задачей**, соответствующей названию диссертационной работы, является разработка технологических приемов получения газобетонного массива с высокоорганизованной структурой путем регулирования пористости и тепловыделения.

Рабочая гипотеза исследований – минимизация технологических дефектов путем физико-механической обработки смеси после ее заливки в формы и создание термосных условий на стадии предварительного твердения газобетона.

В **первой главе** представлен анализ современного состояния технологий производства газобетона и его применения в современном строительстве. Благодаря многофункциональным свойствам газобетон широко применяется в строительстве. Проведен анализ закономерностей процессов, протекающих при производстве автоклавного газобетона на начальном этапе твердения. Существующие объяснения химических процессов и механизма газообразования, гидратации цемента и извести в газобетонных смесях являются дискуссионными и необходимо провести дополнительные исследования. Осуществлен анализ процессов тепловыделения при твердении газобетонных смесей, включая тепловыделение при гидратации цемента, и влияние различных факторов на

данный процесс. Особое внимание уделено анализу процессов порообразования газобетонной смеси, классификации макропор, качеству газобетона и повышению эффективности производства автоклавного газобетона. Показано, что основными дефектами макропористой структуры являются: поры воздухововлечения, как результат турбулентности смеси в процессе заливки, и сегментные пузыри – результат экзотермических процессов.

Во второй главе приведены стандартные характеристики используемых сырьевых материалов (портландцемент, песок кварцевый, гипс, известь негашеная комовая, алюминиевый газообразователь, вода) позволяющие оценить их качество и возможность использования для установления закономерностей при проведении исследований в соответствии с сформулированной целью и задачами, а также применяемые методы экспериментальных исследований и виды оборудования для их проведения с обеспечением достоверных результатов исследований для принятия эффективных технологических решений в производстве газобетонов высокого качества.

В третьей главе развиты представления о физико-химических закономерностях процессов, протекающих при производстве автоклавного газобетона, позволившие создать технологические решения по совершенствованию процесса формирования пористой структуры на начальном этапе твердения вяжущих. Показано, что газобетонная смесь за счет экзотермических процессов гидратации извести и взаимодействия ее с дисперсным алюминием (пастой), начального твердения цемента имеет высокий термический потенциал. При этом основной вклад в тепловыделение в смеси вносит оксид кальция. Установлено, что значимыми показателями для управления тепловым режимом массива являются водотвердое отношение, расход извести, проектная марка газобетона по средней плотности. Переход тепла от газобетонной смеси на нагрев формы и окружающей среды является негативным фактором, создающим термический градиент в массиве и связанные с этим напряжения в газобетоне. Использование энергетического потенциала газобетонных смесей позволит увеличить производительность технологической линии, снизить расход вяжущего за счет положительного эффекта повышения прочности газобетона, управлять теплофизическими характеристиками с целью повышения качества выпускаемой продукции.

Основной задачей в совершенствовании технологии газобетона является снижение максимального и среднего размера пор. Уменьшение размера пор в твердеющей системе позволит повысить значимость капиллярных сил в формировании поровой структуры ячеистого бетона. Большое внимание в структуре газобетона автором уделено порам воздухововлечения. Размер этих пор от 2 до 30 мм и они образуются в процессе заливки газобетонной смеси в формы. Крупные поры воздухововлечения являются существенными дефектами в структуре ячеистого бетона. Формирование таких пор приводит к нарушению

целостности и равномерности внутренней структуры материала, что снижает ее прочность и теплоизоляционные свойства газобетона. Изучены сегментные поры (пузыри) в ячеистобетонной смеси и предложено рассматривать их в форме двояковыпуклой линзы с разными радиусами кривизны и с округлыми краями разного радиуса закругления. Уменьшение радиуса закругления и асимметрия сечения сегментного пузыря приводят к градиенту тангенциальных векторов и появлению силы, вызывающей направленное перемещение пузыря. Причиной возникновения асимметрии в строении поверхности сегментного пузыря являются локальные энергоемкие процессы с участием конгломератов извести и дисперсного алюминия. А при отсутствии асимметрии сегментный пузырь находится в метастабильном неподвижном состоянии.

В **четвертой главе** изучены особенности управления высокопористой однородной структурой газобетонного массива. Исследуются термические явления, возникающие в процессе твердения газобетонного массива, и предложены пути оптимизации температурного режима для предотвращения дефектов структуры. По результатам исследований высокие температурные градиенты внутри массива бетона приводят к образованию трещин и другим структурным повреждениям. Наиболее значительные градиенты были зафиксированы между ядром и поверхностью массива, что подтверждает необходимость управления температурой на всех стадиях твердения и создание требуемых температурных условий в камере предварительного твердения. Внедрение физико-механической обработки газобетонной смеси виброгребнем позволило значительно повысить однородность пористой структуры материала за счет уменьшения размеров крупных пор воздухововлечения до 2 мм и равномерного распределения их в объеме матрицы, а также минимизации дефектов в структуре.

Установлено, что наличие крупных пор и трещин в структуре газобетона служит концентраторами напряжений и приводит к разрушениям образцов и в целом снижению средней плотности. Это подчеркивает необходимость внедрения эффективных технологий для предотвращения образования дефектов во время производства.

Также в главе рассмотрены физико-механические и теплотехнические свойства газобетона при оптимальных параметрах технологии.

В **пятой главе** предложены технологические решения совершенствования производства изделий из автоклавного газобетона с повышенными эксплуатационными характеристиками, а также дана экономическая эффективность их применения. Обоснованы параметры технологического процесса от стадии заливки смеси до резки массива. Разработан и предлагается для практического уменьшения размеров пор способ физико-механической обработки смеси виброгребнем. Предложено использование готовых газоблоков в однорядных ограждающих конструкциях с высокой теплотехнической эффективностью. Обоснована технико-экономическая эффективность усовершенствованной технологии на

стадии доавтоклавной обработки. Приведены результаты апробации научных разработок и их внедрения в производство. Приведен перечень разработанных нормативных документов и результаты внедрения.

В заключении соискателем представлены основные результаты, подтверждающие выдвинутую рабочую гипотезу при решении сформулированных цели и задач исследований, а также приводятся рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и научная новизна

Автор в своих исследованиях использует результаты фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых в области получения автоклавного газобетона, использует целенаправленный анализ научно-технической литературы, вероятностно-статистический подход, а также применяет комплекс методов исследования с использованием современного высокотехнологичного оборудования, что позволило получить обоснованные и достоверные результаты.

Основные выводы, представленные в заключении диссертации и автореферате диссертации, отражают содержание и результат проведенных экспериментально-теоретических исследований, раскрывают полноту решения поставленных в работе задач.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации,

Достоверность и обоснованность научных результатов, выводов и рекомендаций подтверждена комплексом выполненных экспериментальных испытаний и исследований, которые проводились в соответствии с научно-обоснованными и стандартными методиками, использованием современного аттестованного испытательного оборудования и поверенных средств измерений, а также применением математического планирования экспериментов и сопоставлением с результатами исследований других ученых.

Выводы и рекомендации, изложенные в диссертации, получили положительную апробацию и внедрение в строительной отрасли на предприятиях ООО «Масикс» (г. Ростов-на-Дону), ООО «Сибирский элемент «Рента-К» (д. Обухово, Калужская обл.), ООО «СТРОЙТЕХНОЛОГИЯ» (г. Белгород). Для практического использования результатов работы разработан стандарт организации СТО 02066339-068-2023 «Газобетон с высокоорганизованной структурой» и Рекомендации по производству газобетона с высокоорганизованной структурой. Теоретические и экспериментальные положения диссертационной работы используются в учебном процессе.

Новизна диссертационной работы заключается в разработке теоретически обоснованного и экспериментально подтвержденного технологического решения, обеспечивающего получение газобетона высокоорганизованной структуры путем регулирования расхода извести, физико-механической обработки смеси виброгребнем после ее заливки, создания термосных условий в камере предварительного твердения. Изменением расхода извести можно регулировать термический потенциал газобетонной смеси из условия $1 \text{ кг/м}^3 \text{ CaO}$ на 1°C . Воздействие на газобетонную смесь виброгребнем путем перемещения формы со смесью под ним со скоростью 12 м/мин , обеспечивает уменьшение размера пор воздухововлечения до 2 мм , сопоставимого с порами газовыделения. Снижение градиента температур при создании термосных условий твердения до $12-15^\circ\text{C}$ приводит к достижению температуры поверхности массива до 54°C , соответствующей значению на дне формы, что предотвращает образование сегментных пузырей. Совершенствование технологии газобетона обеспечивает повышение прочности на $50-60\%$ и снижение теплопроводности на $10-15\%$.

Установлены условия формирования дефектов структуры – пор воздухововлечения и сегментных пузырей. Показано, что поры воздухововлечения, образовавшиеся во время заливки ячеистобетонной смеси, имеют форму перевернутой капли, характеризуемой тремя радиусами кривизны и высотой. Образование сегментных пузырей происходит при максимальной скорости гидратации извести, а условием их горизонтального перемещения является градиент тангенциальных сил в направлении повышенной асимметрии данного вида дефекта структуры, что приводит к выходу газа и оседанию смеси в форме или к нарушению структуры массива из-за разрывов сплошности.

Сформулированы теоретические основы получения газобетона высокоорганизованной структуры, раскрывающие влияние термических процессов (как интегрального тепловыделения, так и градиента температур) на снижение доли сегментных пузырей (дефектов структуры), формируемых в доавтоклавный период. Процессы, протекающие в твердеющей газобетонной смеси, ранжированы по значимости вклада в создание требуемого температурного поля: гидратация цемента $\rightarrow$ газовыделение при взаимодействии дисперсного алюминия с гидроокисью кальция $\rightarrow$ гидратация оксида кальция.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований

Развиты теоретические представления о формировании дефектов и управления процессами структурообразования газобетона с целью получения мелкопористой структурой (поры преимущественно $0,2 \text{ мм}$), что позволило разработать научно обоснованное технологическое решение совершенствования процесса производства газобетона в доавтоклавный

период – от стадии приготовления и заливки смеси в формы до резки затвердевшего массива.

Предложено совершенствование технологической линии по производству автоклавного газобетона путем регулирования содержания извести, физико-механической обработки смеси виброгребнем в ванне после заливки и создания условий для равномерного прогрева массива в камере предварительного твердения.

Разработанное технологическое решение обеспечивает получение газобетона с высокоорганизованной макроструктурой превосходящего по эксплуатационным свойствам автоклавные газобетоны, изготовленные по традиционной технологии, с обеспечением класса прочности *B5* при марке по средней плотности *D500*.

Разработаны мероприятия по повышению теплотехнической однородности стен из газобетонных блоков.

Осуществлен выпуск опытной партии газобетонной смеси с использованием добавок, а также блоков, подтвердивших достоверность научных результатов диссертационной работы соискателя. Научные исследования, выполненные и приведенные автором в диссертации достаточны по составу и объему, выбор вариантов технологических решений на каждом этапе жизненного цикла объекта исследований научно обоснованы. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, теоретически и экспериментально подтверждены и согласуются с фундаментальными основами строительного материаловедения.

Оценка публикаций автора

По материалам диссертации опубликовано 16 статей, в том числе: 4 – в российских журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ; 1 – в издании, индексируемом в базе данных Scopus. Получено 2 патента на изобретение, 2 патента на полезную модель и Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Публикации в полном объеме отражают основные положения диссертационной работы Сулейманова К.А.

Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы

1. В диссертационной работе технологическая схема обычно составляется на основании результатов выполненных работ, соблюдая принципы состав-структура-свойства. На разработанной технологической схеме (рис. 5.1) дозируется в смеситель песчаный шлам и вода (очевидно в литрах), цемент, гипс (в кг), алюминиевый газообразователь (? в тексте указана паста), а реального состава (рецептуры) на 1 м³ для практического приготовления смесей в работе нет. Не указано на схеме предварительное измельчение извести. Не используются добавки. По схеме применяется шлам обратный, а в описании производства (стр. 166) указывается использование гранулированного доменного шлака, зол, отходов

добывающей и обогащательной промышленности. Однако исследования газобетона с такими компонентами не проводились.

2. В тексте диссертации не приводятся сведения о возможности использования температурных показателей, определяемых в массиве газобетона, для компьютерного управления технологическим процессом с центрального пульта;

3. В диссертации исследования проводились с использованием литьевой технологии формования изделий с виброгребенкой, а при опытно-промышленных испытаниях - ударной. Какие положения с конкретными результатами были подтверждены при опытно-промышленных испытаниях;

4. При расчете экономической эффективности автоклавного газобетона высокоорганизованной структуры автор не учитывает затраты на дополнительное оборудование, необходимое для реализации разработанных решений на реальной технологической линии;

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертация Сулейманова К.А. выполнена и оформлена на высоком уровне с достаточным количеством поясняющих таблиц и рисунков. Язык и стиль представленной работы соответствуют нормам написания современных научно-технических текстов. Результаты работы широко опубликованы в печати и доложены на конференциях различного уровня.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация Сулейманова Карима Абдулаевича на тему: «Совершенствование технологии газобетона в доавтоклавный период» соответствует критериям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. с изм. от 25.01.24 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям и является завершенной научно-квалификационной работой. В работе на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технологические решения, обеспечивающие производство цементных газобетонов с улучшенной структурой, повышенной прочностью и морозостойкостью, пониженной теплопроводностью.

Диссертация Сулейманова Карима Абдуллаевича является завершенной научно-квалификационной работой, которая выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне с использованием современных методов исследования и испытательного оборудования, обладает внутренним единством, научной новизной, практической ценностью, перспективностью для дальнейшего развития, а результаты работы способствуют решению важных строительно-технических задач по ресурсному обеспечению объектов строительства, в том числе и индивидуального домостроения, современными газобетонными изделиями. Предложенные автором диссертации научно обоснованные технологические решения аргументированы и проведены сравнения с другими известными опубликованными решениями.

Учитывая актуальность, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов считаю, что

диссертационная работа на тему «Совершенствование технологии газобетона в доавтоклавный период» соответствует критериям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изм. от 25.01.24 г), а также требованиям Паспорта научной специальности 2.1.5 «Строительные материалы и изделия», предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Сулейманов Карим Абдуллаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Официальный оппонент: советник РААСН, доктор технических наук по специальности 2.1.5 «Строительные материалы и изделия», профессор, профессор кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», заслуженный работник высшей школы РФ, почетный строитель РФ.

01.12.2024



А.И. Кудяков

Подпись Кудякова Александра Ивановича
удостоверяю, проректор по научной работе,
профессор, д-р техн. наук

01.12.2024



С.В. Ефименко

634003, г. Томск, пл. Соляная, д. 2, корпус № 6, аудитория 407.
ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»,

Телефон. 89138208554, +7 (3822) 659752

E-mail: kudyakow@mail.tomsknet.ru