

Ж

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московский ордена Трудового Красного Знамени инженерно-
строительный институт им. В. В. Куйбышева

На правах рукописи

Инженер КОРНИЕНКО Павел Васильевич

ОБРАЗОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЯЧЕЙСТОГО БЕТОНА

05.23.05. Строительные материалы и изделия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Москва, 1974 г.

МИСИ им. В. В. Куйбышева направляет Вам автореферат диссертации инженера КОРНИЕНКО П. В.

Работа выполнена в Московском инженерно-строительном институте им. В. В. Куйбышева.

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент - САХАРОВ Г. П.

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор - ГОРЧАКОВ Г. И.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор - ИВАНОВ И. А.

кандидат технических наук - БАРАНОВ А. Т.

Ведущее предприятие - Автоковский домостроительный комбинат № 3 г. Ленинграда.

Защита диссертации состоится на заседании Совета по присуждению ученых степеней строительно-технологического факультета.

" _____ " _____ 1974 г. в _____ часов в ауд. 307,
г. Москва, Шлюзовая наб., 8.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института за 10 дней до защиты.

Просим Вас принять участие в защите и направить Ваш отзыв по автореферату в 2 экз. по адресу: ИИИИ4, г. Москва, М-ИИ4, Шлюзовая наб., 8, МИСИ им. В. В. Куйбышева, Ученый Совет.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1974 г., № _____

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук, доцент

В. СИПЦЕВ

Расширение применения ячеистого бетона в строительстве неразрывно связано с совершенствованием технологии его производства и повышением качества. До последнего времени в этой связи главное внимание уделялось вопросам технологии и значительно меньшее исследование свойств и выявлению объективной зависимости от их технологических факторов. Это не позволяет надежно оценить достоинства различных технологических приемов изготовления ячеистого бетона и рекомендовать наиболее эффективные из них к широкому использованию в производстве. До сих пор, например, нет единого мнения исследователей относительно преимуществ виброгазобетона перед литым газобетоном. Объясняется это тем, что при сравнении показателей ячеистого бетона качество его структуры, в частности микроструктуры, имеющей развитый характер, обычно не учитывается. Между тем даже немногочисленные исследования показывают, что качество микроструктуры существенным образом влияет на механические свойства газобетона, например, на его прочность при сжатии. Оттого насколько равномерно распределены в теле ячеистого бетона газовые (воздушные) поры, а форма их приближается к сферической и выдерживается требуемое соотношение диаметров пор для образования плотнейших упаковок, будут постепенно улучшаться и свойства ячеистого бетона.

Если пренебречь качеством микроструктуры и все внимание сосредоточить на качестве цементного камня, т.е. микроструктуре ячеистого бетона, то, как показывают исследования, свойства ячеистого бетона в целом существенно улучшить не удастся. Таким образом качество микроструктуры является определяющим фактором в деле дальнейшего повышения физико-технических свойств ячеистого бетона и может одновременно служить обобщенным показателем совершенства технологии его производства. Исходя из этого различает основную задачу диссертационной работы - определить situa-

мальную макроструктуру ячеистого бетона и разработать метод её образования. Предпринятая работа является первой попыткой в этом направлении и не претендует на полноту, тем более, что целый ряд таких вопросов, как влияние формы и размеров газовых пор, соотношения их диаметров, толщины стенок между порами, виду и плотности образуемых упаковок на свойства ячеистого бетона не изучен и нуждается в самостоятельном и тщательном исследовании.

Диссертация состоит из пяти глав, выводов и актов производственных испытаний результатов исследований.

В кратком введении рассматриваются состояние и перспективы развития производства и применения ячеистого бетона в строительстве до 1980г.

Отмечается, что снижение объемной массы ячеистого бетона с 700 до 600 и 500 кг/м³ вызывает качественные изменения в его структуре, например, увеличение пористости, которые необходимо учитывать при проектировании ограждающих конструкций.

Примеры того, как строение твердых тел влияет на их физико-химические свойства дает кристаллография, и, особенно её раздел, кристаллохимия. В диссертации приведены основные сведения из геометрической кристаллографии, показано, что структурные элементы твердых тел - ионы, атомы, располагаются упорядоченным образом в узлах кристаллической решетки и образуют плотнейшие в основном кубические или гексагональные упаковки, обладающие минимумом потенциальной энергии. С перестройкой структуры изменяются и свойства вещества. Так например, алмаз и графит имеют одинаковый химический состав, но первый кристаллизуется в кубической симметрии координационной структуры, близкой к плотнейшей упаковке, а второй - гексагональной, слоистой структуры с непрочной связью между слоями. Алмаз имеет уд.вес 3,5 наибольшую твердость и прочность, неэлектропроводен. Графит имеет уд.вес 2,2 малую

прочность и твердость, хорошо проводит электрический ток.

Хорошо известные модификации кварца также имеют различную структуру и свойства.

Термическое расширение кристаллических тел также зависит от типа структуры. Тела кубической сингонии расширяются по всем направлениям одинаково, остальных сингоний - по разному. В зависимости от направления прочность кристаллических тел резко меняется. Так в кристалле талита ($NaCl$), прочность на разрыв вдоль оси 4-го порядка составляет $0,57 \text{ кгс/см}^2$, вдоль оси 2-ого порядка - $1,15 \text{ кгс/см}^2$, вдоль оси 3-го порядка - $2,15 \text{ кгс/см}^2$. В приведенных примерах диагностическим признаком наблюдаемых изменений свойств кристаллических тел является изменение структуры кристаллической решетки, т.е. геометрической симметрии в расположении частиц-атомов, молекул и ионов. Таким образом геометрическая характеристика строения твердого тела может служить надежным критерием оценки его свойств.

В работе приведены также результаты прямых исследований связи "структура-свойства" ячеистого бетона и проанализированы технологические условия формирования его структуры. Обзор исследований показал, что структурная чувствительность свойств ячеистого бетона изучена очень мало, а имеющиеся сведения, полученные на случайном материале, отрывочны и противоречивы. Эти исследования в основном касаются распределения газовой пористости. Остальные элементы макроструктуры газобетона почти не затрагивались.

Влияние микроструктуры ячеистого бетона на его свойства и долговечность обычно оценивается по фазовому составу новообразований, плотности и интегральной пористости цементного камня, влажностной и карбонизационной усадке. Предложены различные критерии оценки морозо- и трещиностойкости, карбонизационной стойкости и долговечности. Во всех этих исследованиях недостаточно

учитывается характер пористости структуры цементного камня. С этой точки зрения большой интерес представляет использование закономерностей, установленных Г.И.Горчаковым совместно с другими исследователями для бетонов слитного строения. Выделенные и проанализированные ими группы пор цементного камня, позволяют целенаправленно подходить к построению пористой структуры заданного качества.

Таким образом качество макро- и микроструктуры ячеистого бетона и степень их влияния на его свойства, являются определяющими факторами при разработке и оценки технологии производства ячеистого бетона. Анализ существующих технологий показывает, что наиболее эффективными оказываются те из них, которые позволяют применять сырьевые смеси с пониженным водосодержанием и температурой, обеспечивающих стабильность и постоянство пластично-вязких свойств смесей при их перемешивании и вспучивании. Такие условия обычно создаются при вибрации и применения ПАВ. Однако и при повышенном водосодержании смесей без вибрации, как показывает исследование НИИЖБ (А.Т.Баранова, К.И.Бахтиярова и др.), может быть получен качественный ячеистый бетон не уступающий по свойствам вибрационному. Это означает, что качество макроструктуры литого ячеистого бетона в этих исследованиях было выше вибрационного и, что снижение водосодержания смесей не должно проводиться ухудшением качества макроструктуры. Таким образом существует некоторый предел, ниже которого при существующих методах изготовления и характеристиках материалов, в первую очередь тонкости помола песка, невозможно понизить водосодержание смесей без ущерба для качества образующейся на них макроструктуры ячеистого бетона. Этот предел для различных технологий и объемных масс ячеистого бетона устанавливается обычно опытным

путем и не является оптимальным.

Следовательно, качество макроструктуры ячеистого бетона оказывается первичным и при решении технологических задач.

В связи с этим возникает необходимость разработки эталона качества макроструктуры. С этой целью в работе были постулированы следующие положения, являющиеся отражением качественной зависимости свойства ячеистого бетона от его структуры:

1. Газовые (воздушные) поры имеют сферическую форму и занимают наибольший объем в теле бетона;

2. Пространство между газовыми порами имеет оптимальный состав и минимальный объем;

3. Отношение объема газовых пор к объему пор от испарения несвязанной воды в цементном камне является максимальным.

В соответствии с ними были разработана модель идеально-пористого тела, принятая за эталон, и представляющая собой плотнейшую кубическую или гексагональную упаковку сферических пор разного диаметра, раздвинутых на некоторое минимальное расстояние "б". В случае их соприкосновения пористость тела максимальна и равна 87,0% (табл. I)

Разработанная модель напоминает структуру ионных кристаллов, которая, согласно предложению англ. ученого У.Г.Брагга, может быть представлена совокупностью шаров с соответствующим ионным радиусом. Подобная трактовка макроструктуры ячеистого бетона дает возможность распространить на неё законы геометрической кристаллографии и использовать принятые методы оценки дефектов структуры и физико-механических свойств тела исходя из различий в симметрии образуемых упаковок. На данном этапе это позволяло произвести теоретический анализ микроструктуры, и разработать метод расчета и подбора оптимальных составов ячеистого бетона.

Было принято, что изменение пористости идеальной модели при

Таблица I

Пористость модели идеально-пористого тела^{x)}

Диаметр пор	Координационное число	Объем одной поры	Количество пор в элементарной ячейке	Общий объем пор в ячейке	Пористость, %
Д	12	$5,235 \cdot 10^{-1} Д^3$	1	$5,235 \cdot 10^{-1} Д^3$	74,05
0,414Д	6	$5,713 \cdot 10^{-2} Д^3$	1	$3,713 \cdot 10^{-2} Д^3$	5,25
0,225Д	4	$5,96 \cdot 10^{-3} Д^3$	2	$1,192 \cdot 10^{-2} Д^3$	1,69
0,155Д	3	$1,948 \cdot 10^{-3} Д^3$	15	$2,922 \cdot 10^{-2} Д^3$	4,13
0,12Д	2	$9,046 \cdot 10^{-4} Д^3$	16	$1,347 \cdot 10^{-2} Д^3$	1,9
ИТОГО:					87,02

x) Расчет произведен для элементарной ячейки гексагональной упаковки пор - ромбоэдра с ребром Д и объемом $0,707 Д^3$.

исходит вследствие уменьшения начальных диаметров соприкасающихся пор и соответственного увеличения толщины стенки " δ " между ними. Это соответствует реально наблюдаемым изменениям диаметров пор с изменением объемной массы ячеистого бетона.

Пористость модели может быть вычислена из уравнения:

$$P = 74,05 \left(1 - \frac{\delta}{D}\right)^3 + 5,25 \left(1 - \frac{\delta}{0,414 D}\right)^3 + 1,69 \left(1 - \frac{\delta}{0,225 D}\right)^3 + 4,13 \left(1 - \frac{\delta}{0,155 D}\right)^3 + 1,9 \left(1 - \frac{\delta}{0,12 D}\right)^3$$

По мере увеличения толщины стенки " δ " и достижения ею значений 0,12Д; 0,155Д; 0,225Д; 0,414Д последовательно отпадают члены уравнения, превращающиеся в нуль. При " δ " = Д пористость системы становится равной нулю, а при " δ " = 0, максимальной. Промежуточные значения пористости зависят от отношения δ/Д. Для разных значений этого отношения через С.О.И. на рисунке в таблице "Назри" были определены промежуточные значения

пористости модели и построена кривая, теоретически отражающая изменение пористости модели в зависимости от отношения толщины стенки " δ " и наибольшего диаметра пор "Д". Однако непосредственное использование полученных данных невозможно. Для практического их использования необходимо было определить:

- наиболее вероятный начальный (в состоянии соприкосновения) диаметр пор Д реального газобетона, имеющего газовую пористость близкую к максимальной и качественную макроструктуру, приближающуюся к эталону;

- наиболее вероятные минимальные толщины стенок между порами, исходя из реальных материалов, отвечающих нормативным требованиям существующих методов изготовления ячеистого бетона;

- разработать метод расчета и подбора составов ячеистого бетона по разным технологиям, обеспечивающий получение макроструктуры, близкой к эталону.

Диаметр пор "Д" и толщины стенок " δ " определялись на опытных образцах газобетона с газовой пористостью максимально приближенной к её предельному значению. Образцы готовились по литьевой и вибрационной технологии на холодных и горячих смесях. Задача исследований состояла в том, чтобы при минимальном объеме исходной смеси и её водосодержании получить газобетон с качественной макроструктурой, близкой к эталону и минимальным количеством дефектов - отклонений форм пор от сферической, трещин, дырок в стенках и др. Качество макроструктуры в опытах оценивалось визуально, методом адсорбции красителей из растворов, испытанием прочности на сжатие, по геометрической характеристике пор и их распределению по размерам. Оптимальная макроструктура газобетона была получена методом последовательного приближения. Объем исходной смеси при этом уменьшался от 13 до 22% от заданного объема га-

зобетона, а водотвердые отношения для каждого из них - от 0,55 до 1. Объемная масса газобетона (в опытах $\sim 210 \text{ кг/м}^3$, по всем технологиям сохранялась одинаковой. Оптимальные макроструктуры газобетона были получены при $V/T = 1; 0,9; 0,65$ соответственно для литевой и вибрационной технологии на горячих и холодных смесях. Объем исходной смеси в том же порядке составил 27,3; 24,25 и 19,6%, а состав газовой пористости - 72,7; 75,75 и 80,4%. Объем смеси 19,6% при $V/T = 0,65$ является предельно достижимым для обычных условий и поэтому назван "критическим", соответствующим тому минимальному объему смеси, который обеспечивает получение качественной макроструктуры газобетона. В диссертации приведены фотографии, таблицы, графики распределения пор по размерам, результаты испытаний прочности на сжатие и адсорбции, подтверждающие выбор оптимальных макроструктур.

Истинный начальный диаметр пор "Д" определялся на образцах оптимальной структуры двумя способами: измерением глубины лунок с последующим расчетом диаметра и непосредственно на участках с семенной группировкой больших пор "Д", в промежутках между которыми наблюдались мелкие, соответствующие в модели диаметру 0,155Д. Статистическая обработка данных непосредственных измерений позволила определить вероятный начальный диаметр пор "Д", равный с учетом доверительного интервала и принятой надежности измерений $\bar{x} = 0,999; 1,27 \pm 0,07 \text{ мм}$. Толщина стенок при этом была: у литого газобетона - 45; вибрационного на горячих смесях 32; вибрационного на холодных - 22 мк, при среднем размере песчинок молотого песка 26-32 мк. Зная исходный диаметр пор "Д" и отношение δ/D можно рассчитать толщину стенки для любого значения пористости модели. Она оказывается тем толще, чем меньше пористость.

Далее в работе излагается метод расчета и подбора составов

ячеистого бетона, позволяющий привязать модель к реальному материалу и технологии. Согласно третьему положению отношение объема газовых пор к их объему от испарения свободной воды должно быть максимальным. Этому требованию удовлетворяют оптимальные структуры газобетона, постукившие основой для определения исходного диаметра пор "Д". Принимая указанное отношение за постоянную величину, и обозначив её через "а", было получено выражение для определения водотвердого отношения:

$$B/T = \frac{1 - \omega \kappa \gamma_0 + a \gamma_0 (1 - \kappa)}{\kappa \gamma_0 (1 + a)},$$

где: В - количество воды, л; Т - масса твердых компонентов, кг; ω - удельный объем твердых компонентов, л/кг (равный в среднем для распространенных составов ячеистого бетона - 0,36 л/кг); γ_0 - объемная масса ячеистого бетона, кг/л; $a = \frac{V_r}{V_{исп}}$ - постоянная для данного метода изготовления ячеистого бетона безразмерная величина; κ - коэффициент, учитывающий химически связываемую воду (в расчете $\kappa = 0,9091$).

Подставляя в это выражение найденные из оптимальных структур значения "а", будем иметь:

для литого ячеистого бетона при $a = 4$

$$B/T = \frac{0,22}{\gamma_0} + 0,01$$

для виброиспущенного на горячих смесях при $a = 5$

$$B/T = \frac{0,184}{\gamma_0} + 0,023$$

для виброиспущенного на холодных при $a = 7,5$

$$B/T = \frac{0,15}{\gamma_0} + 0,05$$

В диссертации приложены, рассчитанные с помощью этих формул.

... соотношения, толщины стенок, газовая и капиллярная пористости для объемных масс ячеистого бетона от 216 до 1200 кг/м³, по трем технологиям, а также фактические данные измерений диаметров пор и толщины стенок между ними, для объемных масс 400-1400 кг/м³, близкие с расчетными.

Для обеспечения необходимой удобоукладываемости смесей с низкими В/Т, вычисленными по приведенным формулам, в работе предложено для разных объемных масс ячеистого бетона применять пески также разной дисперсности. Последняя выбирается из условия, чтобы толщина стенки между газовыми порами была соизмерима со средним размером песчинок. Обычно при подборе состава ячеистого бетона не учитывается различие в толщине стенок газовых пор разных объемных масс и для всех её значений применяются молотые пески с удельной поверхностью, согласно СН 277-70, не менее 2000 см²/г. Имеющиеся рекомендации по некоторому её уменьшению делают это недостаточно обоснованно и не в полной мере. Если же это различие учитывать, то как показывают проведенные исследования, дисперсность песка может быть значительно уменьшена, особенно для повышенных значений объемной массы (таб.2).

Это позволяет упростить и удешевить технологию, снизить водосодержание смесей, влажность и усадку изделий, и создать надежные предпосылки для повышения трещиностойкости ячеистого бетона.

В последующих главах диссертации приведены результаты экспериментальных и заводских исследований, подтверждающие правильность теоретических положений и разработанного метода подбора составов ячеистого бетона.

Детальным исследованиям был подвергнут цементный камень образцов ячеистого бетона с объемными массами 500, 600, 700 и 900 кг/м³, изготовленных по литейной и вибрационной технологиям,

Таблица 2

Рекомендуемая дисперсность песка для изготовления
ячеистого бетона

Удельная по- верхность песка, см ² /г	Размеры песчинок, мк			Расчетные толщины стенок, мк	Рекомендуемые объемные массы ячеистого бетона, кг/м ³
	$\delta_{ср}$	$\delta_{мин}$	$\delta_{макс}$		
Немолотый с Мкр-I-I,3	185	80	290	170-226	1100-1200
360	144	63	270	126-190	900-1100
640	84	51	256	90-140	700-900
1000	74	39	249		
1470	65	36	242	58-81	} 600-500
1700	55	33	227		
2100	52	28	163		} 400-500
2350	42	21	124	44-65	
2810	34	17	116		} 300-400
3200	32	15	109	31-49	
3700	26	12	101		

автоклавного и неавтоклавного твердения. Составы ячеистого бетона подбирались по разработанному методу.

Установлено, что уменьшение содержания воды в смеси, обеспыливаемое применением кварцевого песка пониженной дисперсности, вибрация и снижением температуры смесей, способствуют некоторому росту прочности газобетона при сжатии (на 15-20% у ячеистого бетона с объемной массой 500-700 и на 7% с объемной массой 900 кг/м³). Соответственно на 3-5% снижается последоклавиная влажность газобетона. В образцах отмечается повышенное, по сравнению с обычным газобетоном, содержание двуосновного гидросиликата кальция $C_2SH_2(A)$. В остальном базовый состав мало отли-

чается от обычного газобетона.

Для неавтоклавнога газобетона на цементе характерно наличие свободной извести. Кварцевый песок практически инертен, поэтому изменение его дисперсности не сказывается на процессе гидратации и влияет только на структуру цементного камня. В составе продуктов гидратации преобладает гидросиликат кальция C_2SH_2 и содержится незначительная примесь $C_2SH(A)$. Гидрогранаты присутствуют во всех образцах. Степень гидратации цемента в образцах близка между собой. Однако прочность газобетона при сжатии резко отличается в зависимости от исходного водосодержания смеси. Например, для объемной массы 500 кг/м^3 она составляет: для литого газобетона I5, вибрационного на горячих смесях - 21, вибрационного на холодных - 29 кгс/см^2 . С увеличением объемной массы различие несколько уменьшается, но во всех случаях при применении холодных смесей достигались нормативные показатели по прочности на сжатие. Это лишний раз подтверждает решающее влияние фактора В/Ц и целесообразность изготовления неавтоклавнога газобетона в случае использования в качестве вяжущего цемента. В работе приведены таблицы и диаграммы химического, термического и рентгеноструктурного анализов.

Физико-технические свойства ячеистого бетона определялись на стандартных образцах, изготовленных по разработанному методу и обычной литевой и вибрационной технологиям.

Макроструктура ячеистых бетонов изучалась на образцах различной объемной массы от 400 до 1200 кг/м^3 . Статистическая обработка данных распределений истинных наибольших диаметров макропор показала, что с увеличением объемной массы диаметры уменьшаются. Сравнение этих данных с расчетными обнаруживает достаточно хорошее их совпадение, подтверждающее справедливость выбранной модели и расчетных положений.

Более детальному исследованию были подвергнуты образцы газобетона объемных масс 500, 600 и 700 кг/м³, изготовленные разными способами по предложенному методу. В работе приведены графики распределения пор по размерам, которые указывают на присутствие газовых пор разного диаметра, о чем свидетельствует наличие нескольких максимумов на кривой, что подтверждает расчетную модель. Об улучшении структуры газобетона свидетельствует уменьшение водопоглощения. Так, для ячеистых бетонов равработанных составов, изготовленных по вибрационной и литевой технологиям, водопоглощение снизилось в интервале объемных масс 500-1200 кг/м³ на 12-25%, а по вибрационной на холодных смесях на 35-40% (по сравнению с ячеистым бетоном, изготовленным по традиционной литевой технологии).

Снижение водопоглощения положительно сказывается на морозостойкости и влажностной усадке газобетона. Коэффициент морозостойкости при стандартных испытаниях составлял 0,98-1.

Механические свойства ячеистого бетона оптимальных составов оказываются, как показывают исследования, не ниже, чем при существующих методах изготовления и на 20-30% выше нормативных, несмотря на уменьшение дисперсности песка, снижение воды затворения и ухудшение в связи с этим условий кристаллизации новообразований. Это объясняется улучшением макроструктуры и повышением плотности межпоровых перегородок, т.е. факторами которые оказывают значительно большее влияние, чем вид новообразований. Особенно возрастает предел прочности ячеистого бетона при растяжении примерно в 1,5 раза больше, чем у обычного ячеистого бетона.

Деформации влажностной усадки газобетона изучались в различных интервалах изменения его влажности: до 20; от 20 до 5 и от 5 до 0%. Наименьшей усадкой на всех стадиях обладают вибрационные газобетоны на холодных смесях. Усадка газобетона, из-

готовленного по литевой технологии с применением разработанного метода, оказывается аналогичной усадке обычного вибрационного газобетона (у δ_0 500-900 кг/м³ составляет 1,47-1,25 мм/м). Воздушная усадка вибрированного газобетона с пониженным В/Т и дисперсностью песка в 1,5-2 раза меньше усадки традиционных газобетонов, особенно для объемных масс 700 и 900 кг/м³.

Усадка неавтоклавного цементного газобетона, изготовленного по вибрационной технологии на холодных смесях, находится в пределах значений её для обычных автоклавных ячеистых бетонов. Например, для объемной массы 500, 700 и 900 кг/м³ на 28 сутки она составляла соответственно 0,73; 0,61 и 0,53 мм/м. Обычный автоклавный газобетон того же состава, но на песке с удельной поверхностью 2500-2000 см²/г, к этому времени имел усадку соответственно 0,65; 0,59 и 0,54 мм/м. Это предопределяет возможность успешного применения неавтоклавного газобетона в аналогичных конструкциях. В работе приведены графики и таблицы значений усадки газобетона, изготовленного разными способами.

Учитывая огромное значение для теплотехнических расчетов фильтрационных свойств материала, были определены коэффициенты паро- и воздухопроницаемости, на основании которых для различных расчетных температур Союза (-33; -42; -59°С) рассчитано сопротивление паро- и воздухопроницаемости ограждающих конструкций из ячеистого бетона разработанных составов.

Ячеистые бетоны холодного виброформования δ_0 700, 600, 500 кг/м³, изготовленные по предлагаемому методу, имеют коэффициенты воздухопроницаемости соответственно на 48; 35; 17, а паропроницаемости - на 44; 43,3; 30,4% меньше, чем обычный ячеистый бетон. Сопротивление паро- и воздухопроницаемости, например, для г. Пензы (-33°С); у ячеистых бетонов холодного виброформования, в сравнении с литым, увеличиваются соответственно на 42,

54, 31% (для паропроницаемости) и в 2; 1,54 и 1,2 раза (для воздухопроницаемости). Это будет способствовать снижению теплопотерь и увлажнения ограждающих конструкций из ячеистого бетона.

Заводская проверка результатов теоретических и экспериментальных исследований проведена на Автоковском ДСК-3 г. Ленинграда и в Ферганском тресте "Облколхозстрой".

В процессе опробования формовались изделия и массивы объемом до 16 м^3 из газобетона, объемной массы $500-1200 \text{ кг/м}^3$, из которых вышпиливались образцы для испытаний. Опробование подтвердило правильность основных положений метода образования оптимальной структуры ячеистого бетона и позволяет рекомендовать его для дальнейшего использования в исследовательской и производственной практике.

Технико-экономический расчет выполнен применительно к условиям производства газобетонных панелей на Автоковском ДСК-3. Для определения экономической эффективности разработанного метода использовались плановые калькуляции себестоимости изделий из газобетона объемной массой 700 кг/м^3 . При этом учитывались изменения по статьям затрат, вызванные иными условиями подготовки сырья, вызревания и автоклавной обработки изделий. В работе приведен подробный расчет всех затрат, в результате которого получены следующие технико-экономические показатели:

1. Годовая производительность по существующей заводской технологии - 77, а согласно рекомендуемым составам: по литейной технологии - 85,95; вибрационной на горячих смесях - 91; и вибрационной на холодных смесях - 118,6 тыс. м^3 .

2. Себестоимость 1 м^3 газобетона по технологиям в том же порядке - 30,43; 28,46; 28,15; 28,03 руб.

3. Годовой ожидаемый экономический эффект при использовании рекомендуемых составов и условий производства составит в прежнем

порядке - 169,32; 207,48; 284,64 тыс.руб.

Указанная технико-экономическая эффективность предложений по подбору составов и условиям производства ячеистого бетона достигается за счет снижения затрат на помол песка (электроэнергии и расхода мелющих тел), окрашивания расхода тепла и продолжительности автоклавной обработки; вследствие меньшей теплоемкости газобетона - сырья; увеличения оборачиваемости, автоклавов и др. факторов.

Основные выводы

1. Свойства и стойкость ячеистого бетона в эксплуатационных условиях в решающей мере зависят от качества его структуры, в частности, макроструктуры. Для ячеистых бетонов эта зависимость изучена недостаточно, что не позволяет оптимизировать составы и методы его изготовления, обеспечивающие получение качественной структуры.

2. За эталон качества макроструктуры ячеистого бетона может быть принята структура идеально-пористого тела, состоящего из сферических пор разного диаметра, упакованных в плотнейший гексагональной или кубической решетках. Пространство между порами однородно и изотропно.

3. Экспериментальным путем определен наиболее вероятный исходный диаметр газовых пор, равный в среднем $1,27 \pm 0,07$ мм, на основании которого рассчитаны толщины стенок и диаметры пор для различных значений пористости эталона. Введено понятие "критического" объема массы, необходимого и достаточного для образования сплошного межпорового пространства ячеистого бетона.

4. Разработан метод расчета составов ячеистого бетона для разных технологий его изготовления; получены аналитические выражения для определения водопотребности смеси, определена опти-

малыня дисперсность песка для различных объемных масс в зависимости от толщин стенок между порами ячеистого бетона.

5. Фазовый состав новообразований автоклавного ячеистого бетона, изготовленного на основании разработанных составов, отличается от известных повышенным содержанием более основных гидросиликатов кальция типа $C_2S \cdot H_2$. Наблюдается некоторое замедление гидратации вяжущего и переход новообразований в одноосновный гидросиликат кальция тоберморит и ксенолит.

6. Экспериментально подтверждены, включая заводские испытания, рациональность выбранной модели макроструктуры ячеистого бетона, метод расчета его составов и технико-экономические преимущества применения грубодисперсных песков.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Сахаров Г.П., Корниенко П.В., Влдавев Э.М., Абдуганиев А.А., Ячеистый бетон из мелкозернистых песков. Техническая информация ВНИИЭСМ, серия "Промышленность автоклавных материалов и местных вяжущих", вып. 10, М., 1972.

2. Сахаров Г.П., Корниенко П.В., Образование оптимальной структуры ячеистого бетона, "Строительные материалы", № 10, 1973.

ПОДПИСАНО К ПЕЧАТИ 30/5/74г. л 83487 ЗАК 133 ТИР 150.

ТИП ЛИТОГ. РА. В.В. КУЙБЫШЕВА. ФОТАПРИНТ.