

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СТРУКТУР НЕАВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Матыева А.К.<sup>(1)</sup>, Асаналиева Ж.Дж.<sup>(2)</sup>, Апысов К.<sup>(3)</sup>, Асан у.А.<sup>(4)</sup>, Таалайбеков С.<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Директор Института строительства и инновационных технологий МУИТ, [matyeva59@mail.ru](mailto:matyeva59@mail.ru)

<sup>(2)</sup> И.о. доцента Института строительства и инновационных технологий МУИТ, [ladyjika@bk.ru](mailto:ladyjika@bk.ru)

<sup>(3)</sup> Магистрант Института строительства и инновационных технологий МУИТ, [kubanych0603@mail.ru](mailto:kubanych0603@mail.ru)

<sup>(4)</sup> Студент Института строительства и инновационных технологий МУИТ,

**Аннотация.** В статье представлен аналитический обзор научных публикаций о технологии ячеистых бетонов различного назначения и возможных путях повышения их прочностных характеристик. Приводятся основные сведения о методах и методиках исследований исходных сырьевых материалов ячеистого бетона. Исследованы свойства природных и техногенных кремнеземистых заполнителей неавтоклавного ячеистого бетона.

**Ключевые слова:** неавтоклавный пенобетон; цементно-песчаная смесь; пенообразователь; кремнеземистые заполнители, породы полевошпатовой минерализации, природный песок, гидратная известь, полуводный гипс, жидкое натриевое стекло, микрокремнезема, продукты асбестообогащения, ячеистобетонные массы, фракция песка, изломанные щелевидные поры, мелкопористая структура, межпоровые перегородки.

## FEATURES TO FORMING STRENGTH STRUCTURES OF NON-AUTOCLAVE CELLULAR CONCRETE

Matyeva A.K.<sup>(1)</sup>, Asanalieva J.Dj.<sup>(2)</sup>, Apysov K.<sup>(3)</sup>, Asan u.A.<sup>(4)</sup>, Taalaibekov S.<sup>(4)</sup>

**Abstract.** The article presents an analytical review of scientific publications on the technology of cellular concrete for various purposes and possible ways to increase their strength characteristics. The basic information about the methods and techniques for researching the original raw materials of cellular concrete is given. The properties of natural and technogenic siliceous aggregates or infills of non-autoclaved cellular concrete are investigated.

**Key words:** non-autoclave foam concrete; cement-sand mixture; foaming agent; siliceous aggregates, feldspar mineralization rocks, natural sand, hydrated lime, semi-aquatic gypsum, liquid sodium glass, micro silica fume, asbestos enrichment products, cellular concrete masses, sand fraction, fractured slit-like pores, finely porous structure, interpore partition.

## АВТОКЛАВСЫЗ КӨЗӨНӨКТҮҮ БЕТОНДУН БЕКЕМДҮҮЛҮК ТҮЗҮМДӨРҮНҮН ПАЙДА БОЛУУ ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮ

Матыева А.К.<sup>(1)</sup>, Асаналиева Ж.Дж.<sup>(2)</sup>, Апысов К.<sup>(3)</sup>, Асан у.А.<sup>(4)</sup>, Таалайбеков С.<sup>(4)</sup>

**Аннотация.** Макалада ар кандай максаттагы көзөнөктүү бетон технологиясы жана алардын бекемдик мүнөздөмөлөрүн жогорулатуунун мүмкүн болгон жолдору боюнча илимий басылмалардын аналитикалык баяндамасы келтирилген. Көзөнөктүү бетон чийки заттарын изилдөө ыкмалары жана техникалары жөнүндө негизги маалыматтар келтирилген. Автоклавадалбаган көзөнөктүү бетондун табигый жана техногендик кремний агрегаттарынын касиеттери изилденген.

**Ачкыч сөздөр:** автоклавсыз көбүк бетон; цемент-кум аралашмасы; көбүктөнүүчү; кремний кошулмалары, талаа шпаты минералдашуу тектери, табигый кум, гидратталган акиташ, жарым жартылай суу гипси, суюк натрий айнек, микрокремний, асбест байытуу продуктулары, көзөнөктүү бетон массалары, кум фракциясы, сынган тешикчелер, майда тешикчелүү түзүлүш, интерстициалдык септа.

## **Введение.**

Сегодня найдется не много материалов, которые используются и строительстве в своем первоначальном виде. Век новых технологий подарил людям возможность совершенствовать их свойства. Новейшие разработки учитывают не только требования к несущей способности строительных материалов, но и обеспечивают легкость их использования и экономичность.

На современном этапе развития строительной индустрии и тенденции роста инвестиционной активности в строительном комплексе изделия из ячеистого бетона являются весьма перспективными строительными материалами т.к. при малой объемной плотности обладают достаточной прочностью, необходимой как для производства изделий конструкционного назначения, так и материалов с хорошими теплоизоляционными свойствами.

Применение пенобетона в наружных стенах зданий в рассмотренных технических решениях по сравнению с ограждающими конструкциями с применяемыми плитными утеплителями из минеральной ваты или пенополистирола обеспечивает некоторые преимущества. К ним относятся:

- улучшение воздухообмена, влагомассопереноса и теплозащитных характеристик стены, экологическая чистота конструкции, что повышает комфортность жилища;
- существенное повышение пожаростойкости, долговечности и надежности в эксплуатации стеновых конструкций и здания в целом [1].

Доступными источниками местного кремнеземсодержащего сырья, как потенциального резерва минерально-сырьевой базы промышленности строительных материалов, являются пески Ивановского месторождения и техногенные отходы золуноса Бишкекского ТЭЦ, использование которых в производстве ячеистых бетонов предусматривается минимумом требований соответствующих стандартов, не обеспечивающих индивидуальных подходов к решению проблем, связанных с особенностями их химико-минералогического состава и технологических свойств кремнеземсодержащих материалов в качестве заполнителей ячеистого бетона. Поэтому комплексные исследования низкокремнеземистых природных и техногенных сырьевых материалов в составе неавтоклавных ячеистых бетонов различного назначения с повышенным уровнем эксплуатационных свойств обоснованы и целесообразны.

Как известно, характерными особенностями ячеистого бетона являются отличная теплоизоляция, воздухопроницаемость, пожаробезопасность, долговечность и экономичность, что делает его весьма конкурентоспособным на современном рынке строительных материалов.

В настоящий период развития строительного производства наблюдается резкое ужесточение требований к теплозащитным свойствам ограждающих конструкций при отсутствии разработанных рекомендаций, которые хотя бы в общих чертах могли бы определить основные пути достижения вводимых требований. Это предопределило широкое использование многослойных теплоизоляционных систем на основе пенополистирольных и минераловатных плит, долговечность и экологическая безопасность которых является темой широкой дискуссии [2,3].

В последней четверти прошлого столетия наибольшее распространение получил один вид ячеистого бетона — автоклавный пенобетон. Производство этого материала требовало значительных энергетических и материальных затрат. Основным его ингредиентом был кварцевый песок, размалываемый почти до тонкости цемента в гигантских энергоемких шаровых мельницах. Обработку отформованных изделий производили в громадных, тяжелых и дорогих автоклавах диаметром до 3,6 м и длиной в несколько десятков метров [4].

Неавтоклавный пенобетон развивался почти одновременно с автоклавным, но такого широкого распространения не получил, оставаясь продукцией мелких предприятий, принадлежащих строительным организациям, небольшим акционерным обществам или частным лицам.

При неавтоклавном производстве смесь для получения пенобетона оставляют твердеть в естественных условиях. Это относительно дешевый способ получения строительного материала: минимальны затраты электроэнергии, нет необходимости применять специальное оборудование. Несомненно, при существенном росте цен на энергоносители, повышении доли транспортных расходов в себестоимости продукции этот вид производства заслуживает внимания, в особенности при проектировании и строительстве малоэтажных домов.

Зная влияние каждого из сырьевых компонентов и их совокупное влияние на свойства пенобетона, можно целенаправленно управлять ими на всех стадиях технологического процесса производства пенобетонных изделий.

**Ячеистый пенобетон и неавтоклавный метод.** Существует несколько технологий производства ячеистого пенобетона. Наибольшее распространение получили 2 технологии: производство при помощи пеногенератора и в установках кавитационного типа. Технология приготовления ячеистого пенобетона достаточно проста. В цементно-песчаную смесь добавляется пенообразователь и под давлением смешивается в барокамере. После перемешивания компонентов смесь готова для формирования из нее различных строительных изделий: стеновых блоков, перегородок, перемычек, плит перекрытия и т.д. Такой пенобетон с успехом можно использовать для заливки полов, кровли, а также для монолитного строительства [5,6].

В отличие от ячеистого газобетона, при получении пенобетона используется менее энергоемкая безавтоклавная технология. Кроме простоты производства, пенобетон обладает и множеством других положительных качеств. Например, в процессе его приготовления легко удается придать этому материалу требуемую плотность путем изменения подачи количества пенообразователя. В результате возможно получение изделий плотностью от 200 кг/м<sup>3</sup> до самых предельных значений легкого бетона 1200-1500 (Таблица 1) [7].

Опыт производства ячеистобетонных изделий и конструкций показывает, что снижение водоцементного отношения положительно влияет на прочностные характеристики готовой продукции [8].

Таблица 1 - Нормируемые показатели физико-технических свойств бетонов

Вид бетона	Марка бетона по средней плотности	Коэффициент				Сорбционная влажность бетона, % не более			
		Теплопроводности, Вт/(м <sup>0</sup> С) не более, бетона в сухом состоянии, изготовленного		Паропроницаемости, мг/(мчПа) не менее, бетона изготовленного		При относительной влажности воздуха, %			
		на песке	за золе	на песке	на золе	75		97	
						Бетон изготовленный			
					на песке	на золе	на песке	на золе	
Теплоизоляционный	D 300	0,08	0,08	0,26	0,23	8	12	12	18
	D 300	0,09	0,085	0,245	0,215	8	12	12	18
	D 300	0,010	0,09	0,23	0,20	8	12	12	18
	D 300	0,12	0,10	0,20	0,18	8	12	12	18
Конструкционно-теплоизоляционный	D 500	0,12	0,10	0,20	0,18	8	12	12	18
	D 600	0,14	0,13	0,17	0,16	8	12	12	18
	D 700	0,18	0,15	0,15	0,14	8	12	12	18
	D 800	0,21	0,18	0,14	0,12	10	15	15	22
	D 900	0,24	0,20	0,12	0,11	10	15	15	22
Конструкционный	D 1000	0,29	0,23	0,11	0,10	10	15	15	22
	D 1100	0,34	0,26	0,10	0,09	10	15	15	22
	D 1200	0,38	0,29	0,10	0,08	10	15	15	22

**Исходные материалы. Методы и методики исследований.** Теоретические основы технологии ячеистых бетонов разрабатывались и развиваются в работах А.В. Волженского, Х.С. Воробьева, К.Э. Горайнова, Ю.М. Баженова, Ю.П. Горлова, А.П. Меркина, И.Б. Удачкина, Ю.В. Гудкова, Д.И. Гладкова и др. Анализ литературных данных по составам и особенностям технологии неавтоклавных ячеистых бетонов, определяющим формирование их оптимальной ячеистой структуры и прочностных свойств, показывает, что это обусловлено влиянием различных технологических факторов, более изученными из которых являются виды и свойства вяжущих и традиционные кремнеземистые заполнители (кварцевый песок, золы, шлаки), отвечающие, как правило, основным требованиям существующих стандартов. В научной и технической литературе имеются единичные публикации об использовании нестандартных видов кремнеземсодержащего сырья в технологии ячеистого бетона неавтоклавногo твердения, например, пород полевошпатовой минерализации (В.Ф. Завадский, К.К. Эскуссон), кислых зол (Г.И. Овчаренко, М.А. Савинкина, А.Т. Логвиненко), т.е. сырьевых материалов с низкими значениями кремнеземистой составляющей. На основании проведенного анализа литературных источников обоснованы и сформулированы цель и задачи исследований, при этом в качестве исходной посылки принята повышенная активность алюминатной (ферритной) составляющей низкокремнеземистых заполнителей и возможности управления качеством неавтоклавногo ячеистогo бетона при разработке новых приемов подготовки низкокремнеземистогo сырья [9,10].

Целью работы является разработка составов и технологии неавтоклавногo ячеистогo бетона на основе портландцемента с использованием природного и техногенного низкокремнеземистогo сырья.

Территория Кыргызской Республики (КР) богата минерально-сырьевыми ресурсами для производства различных строительных материалов и изделий, в том числе, и ячеистых бетонов. Расширение сырьевой базы для производства ячеистых бетонов может быть достигнуто использованием отходов промышленности. В процессе добычи и переработки первичного природного сырья на протяжении многих лет в отвалохранилища направляются промышленные отходы от добычи цветных металлов (Sb, Hg), которые накапливались в отвалах и хвостохранилищах. Это, в основном, кремнистый и частично кремнистокарбонатные материалы (месторождения Хайдаркен, Кадамжай, Чаувай, ТерекСай, Шакафтар, Улуу-Тоо и т.д.) [11].

В качестве вяжущего ячеистобетонных масс использовался портландцемент М 400, выпускаемый ОАО «Кантский цементный завод», а кремнеземистых заполнителей - природный песок Ивановского месторождения (Таблица 2) и техногенные отходы в

виде вскрышных пород угледобычи и золы-унос Бишкекского ТЭЦ. Для обеспечения необходимых условий поризации и стабилизации ячеистобетонных масс, повышения эксплуатационных свойств готовых изделий исследовалось влияние технологических добавок гидратной извести, полуводного гипса, жидкого натриевого стекла, микрокремнезема и продуктов асбестообогащения [12].

Таблица 2 - Основные физико-механические характеристики Ивановского песка

№ п/п	Наименование месторождения	М <sub>к</sub>	R <sub>ист</sub> , Г/см <sup>3</sup>	R <sub>нас</sub> , Г/см <sup>3</sup>	Содержание глинистых частиц, %	Содержание крупных зерен, %	Содержание органических частиц
1	Песок Ивановский	1,5		1,455	17,5		-

Введение в ячеистобетонные массы песка фракции 0,63-0,315 мм способствует формированию пористой структуры с отдельными деформированными порами, которые иногда сообщаются между собой, образуя изломанные щелевидные поры с размерами 0,5-3 мм, что изменяет геометрию и плотность межпоровых перегородок, характеризующихся более рыхлой структурой, а соответственно и снижением прочности готового изделия до 10 %. При использовании в составе ячеистобетонных масс фракций песка 0,315-0,14 и 0,14 мм и менее формируется более однородная мелкопористая структура с выдержанными размерами пор от 0,3 до 1,2 мм преимущественно овальной и округлой форм, близких к сферическим, с уменьшенной толщиной более плотных межпоровых перегородок, что способствует повышению прочностных характеристик ячеистого пенобетона (Таблица 3).

Таблица 3 - Гранулометрический состав песков

Материалы	Остаток на ситах, %															
	10		5		2,5		1,25		0,63		0,315		0,16		Процесс 0,16	
	част.	п/л	ча ст.	п/л	ча ст.	п/л	ча ст.	п/л	час т.	п/л	час т.	п/л	ча ст.	п/л	ча ст.	п/л
Ивановский песок	-	-	2,0	2,0	3,0	5,0	2,5	7,5	11,9	19,4	29,8	49,2	34,0	83,2	16,8	100

При исследовании предела прочности при сжатии материала межпоровой перегородки ячеистого пенобетона увеличение дисперсности низкокремнеземистого заполнителя при использовании узкофракционных порошков с размерами зерен 0,63-0,315; 0,315-0,14; 0,14 мм и менее приводит к увеличению водотвердого отношения ячеистобетонных масс и вызывает снижение прочности материала перегородки от 23 до 14 МПа.

Однако при снижении водотвердого отношения до оптимальных значений при использовании суперпластификатора С-3 в количестве от 0,5 до 1 % прочность при сжатии пенобетонных изделий именно при использовании высокодисперсных фракций (0,315 мм и менее) увеличивается от 0,6 до 3,1 МПа. Это обусловлено эффективным протеканием процессов поризации ячеистобетонных масс, соответствием размеров межпоровой перегородки и зерен заполнителя и чем больше дисперсность низкокремнеземистых заполнителей, тем более плотная и прочная структура материала межпоровой перегородки и равномерно пористая структура ячеистого пенобетона образуются, и соответственно возрастает прочность при сжатии готовых изделий [13].

**Вывод.** Фракционирование низкокремнеземистого сырья и использование в качестве заполнителей неавтоклавного ячеистого бетона фракций 0,315-0,14 и 0,14 мм и менее, содержащих зерна заполнителя наиболее соизмеримые с геометрией межпоровых перегородок, обеспечивают формирование плотных и прочных структур межпоровых перегородок и равномерной мелкопористой структуры ячеистого бетона, что способствует повышению прочностных характеристик ячеистого пенобетона в 1,1-1,4 раза.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] *Стасилович Е.А., Касумов А.Ш. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 8-1. – С. 77-80; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36106>*

[2] *Ахметов А.Р. Основы производства ячеистого бетона и силикатного кирпича // Алматы: Гылым, 1999. - 284с.*

[3] *Мещеряков Ю. Г., Фёдоров С. В. Строительные материалы: учебник для студентов ВПО, обучающихся по направлению 270800 «Строительство» / Ю. Г. Мещеряков, С. В. Фёдоров; НОУ ДПО «ЦИПК». – СПб, 2013. – 400 с.: ил.*

[4] *Буравчук Н.И. Ресурсосбережение в технологии строительных материалов // - Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2009. – 224с.*

[5] **Завадский В.Ф., Фомичева Г.Н., Камбалина И.В.** Новый вид наполнителя для ячеистого бетона // *Строительные материалы*. – 2004. – № 7. – С. 60–61.

[6] **Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Черных Т.Н., Кирсанова А.А., В.В. Зимич В.В.** Модификаторы цементных бетонов и растворов // *Технические характеристики и механизм действия. Учебное пособие. Челябинск Издательский центр ЮУрГУ*. – 2016. 145с.

[7]. **ГОСТ 2548589.** Бетоны ячеистые. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 26с.

[8] **Горшков П.В.** Влияние водоцементного отношения на воздухововлечение при производстве неавтоклавного пенобетона с использованием турбулентно-кавитационной технологии // *Вестник МГСУ*. 2012. № 10. С. 154—158.

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17994411>

[9] **Гладких К.В.** Изделия из ячеистых бетонов на основе шлаков и зол. М.: Стройиздат.1976. 255с.

[10] **Эскуссон К.К.** Использование зол и шлаков в производстве ячеистых бетонов за рубежом // *Строительные материалы*. – 1993. – № 8. – С. 18.

[11] **Асаналиева Ж.Д.** НЕАВТОКЛАВНЫЙ ПЕНОБЕТОН НА ОСНОВЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ // *Academy*. 2019. № 10 (49). – С. 20-25;

URL: <https://academicjournal.ru/images/PDF/2019/Academy-10-49/Academy-10-49-.pdf>

[12] **Кузнецов В.Д., Кузнецова И.А.** Мелкозернистые и ячеистые бетоны на отходах дробления скальных пород // *Строительные материалы*. – 1994. – № 4. – С. 15–16.

[13] **Долотова Р.Г., Смиренская В.Н., Верещагин В.И.** Оценка активности низкокремнеземистого сырья и его пригодности в качестве заполнителя ячеистого бетона // *Строительные материалы*. – 2008. – № 1. – С. 40–42.