

## ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ ПЕНОАРБОЛИТ НА БЕЗОБЖИГОВОМ ЩЕЛОЧНОМ ВЯЖУЩЕМ

А.А.ТУЛАГАНОВ, Х.Х.КАМИЛОВ,  
С.С.КАСИМОВА, Ю.Ф.НИЗАМОВА  
*E.mail. ksucta@elcat.kg*

*Макалада жылуулук өткөрбөөчү материалдын - арболит аралашмасын даярдоо учурунда курамына иехникалык көбүктүргүчтү кошуу менен алынуучу көңдөйчөлүү арболиттин эффективдүү технологиялык алынуу жолдору жана касиеттери каралган.*

*В статье рассмотрены вопросы эффективных технологических путей получения и свойства теплоизоляционного материала – поризованного арболита, получаемого введением технической пены в состав арболитовой смеси во время приготовления.*

*The questions of effective technological ways of production and properties, porous insulation material arbolit received introduction of the technical foam of arbolit mixture during cooking*

Как известно, на отопление и вентиляцию зданий различного назначения расходуется около 40 % всех топливно-энергетических ресурсов. Потери тепла через наружные стены в зависимости от высоты и конструкции строения находятся в пределах 20-60 % от общего расходуемого тепла.

После нефтяного кризиса 70-х годов прошлого века большая часть европейских стран осознала необходимость в ужесточении строительных норм и рекомендаций по теплоизоляции зданий. Это привело к повышению уровня теплозащиты новых зданий.

Не только в Узбекистане, но и во многих странах СНГ и Восточной Европы введены новые нормативы сопротивления теплопередачи. Потребление энергоносителей на отопление жилых зданий в России до 1995 года составляло 86 кг усл. топлива на 1 м<sup>2</sup> общей площади. В Узбекистане в СНиП «Строительная теплотехника» термические сопротивления ограждающих конструкций на первом этапе увеличены в 1,7-2 раза (от первоначального 2,89-6 раза). Уровень тепловой защиты зданий по нормативам, введенным с 1.01.2000 г., приблизительно соответствует нормативным требованиям таких стран, как Швеция и Канада. В настоящее время в Узбекистане осуществляется пересмотр строительных норм и правил, совершенствуется нормативно-правовая база.

В жилищном строительстве Узбекистана примерно до 2000 года преобладало крупнопанельное домостроение, причем однослойных панелей производилось значительно больше, чем многослойных с утеплителями. Однослойные железобетонные конструкции не соответствуют современным энергетическим требованиям.

Переход к применению трехслойных конструкций с теплоизоляционными материалами, как известно, позволит получить в расчете на 1 млн м<sup>2</sup> вводимой в эксплуатацию общей площади годовую экономию в пределах 10-12 тыс. тонн условного топлива.

В связи с этим наиболее перспективным является производство теплоизоляционных материалов (ТИМ) с использованием местных сырьевых материалов и новых энергосберегающих технологий.

В Узбекистане, в основном, в качестве ТИМ выпускаются минеральная вата и изделия из нее. В последние годы появились и увеличиваются производства по выпуску ТИМ на основе базальта, пенобетона и изделий из них и другой продукции.

В качестве сырьевых материалов в работе использовались местное сырье и техногенные отходы промышленности.

Для получения безобжигового щелочного вяжущего (БЩВ) в качестве алюмосиликатного компонента был использован Джамбульский электротермофосфорный (ЭТФ) шлак. ЭТФ-шлаки имеют постоянный химический состав, колебания по основным окислам составляют незначительную величину. Так, СаО изменяется в пределах 44-46 %, SiO<sub>2</sub> – 39–43 %, кристаллические фазы в шлаках колеблются от 0 до 4 %.

Портландцемент ПЦ 400-Д-20 и портландцементный клинкер (ПЦК) ОАО «Ахангаранцемент».

В качестве органического заполнителя в исследованиях использовались костра кенафа, стебли хлопчатника, рисовая лузга.

В качестве щелочного компонента использовали водный раствор силиката натрия с силикатным модулем  $M_c = 3$  и плотностью 1,1...1,3 г/см<sup>3</sup>, содосульфатную смесь (ССС) – отход производства капролактама, химический состав которых приведен в табл. 1, а также использованы водные растворы технической и каустической соды.

В исследованиях пользовались пенообразователи Сетора, «Ареком-4» и Винпор (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав щелочных компонентов

Наименование	Содержание оксидов и солей, масс %							
	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaCl	Примеси
Силикат натрия	73,2	24,41	1,5	0,07	-	-	-	0.82
ССС	-	1-3	-	-	40-46	25-40	5-14	0,5-1

Щелочные компоненты использовались в виде водного раствора. Плотность щелочного компонента меняли добавлением воды. Силикатный модуль жидкого стекла изменяли по стандартной методике. Пластическую прочность вяжущих определяли пластометром Höppler.

Таблица 2

Свойства пенообразователей

№	Наименование	Плотность, г/см <sup>3</sup>	pH
1	Сетора	1,057	8
2	«Ареком-4»	1,075	8,7
3	Винпор	1,13	8

Ранее проведенными нашими исследованиями было установлено /1/, что для получения арболита с использованием целлюлозосодержащих отходов сельского хозяйства и БЩВ необходимо создать специальные условия, т.е. выбрать технологические параметры его изготовления, такие как оптимальные расходы водного раствора щелочного компонента и последовательности перемешивания компонентов при приготовлении, давление уплотнения при формовании арболитовой смеси, температура обработки для ускорения твердения, способствующие достижению материалом критерия оптимальности. Некоторые из этих операций являются трудоемкими, а также требуется большой парк форм, связанных с замедленным твердением изделий. В связи с этим для упрощения технологии производства таких изделий наши дальнейшие исследования были направлены на разработку и исследование пеноарболитовых композиций на основе БЩВ и отходов сельского хозяйства, так как аналогичные теплоизоляционные материалы в

Республике Узбекистан не выпускаются, а известные подобные материалы, имеющиеся в литературе, производятся на основе портландцементного вяжущего и древесного заполнителя.

Добавление пенообразователя оказывает двойственное влияние на качество поризованного материала. Поверхностная активность пенообразователя способствует формированию пористой структуры ячеистого материала и обеспечивает его заданную плотность. В то же время добавление пенообразователя приводит к замедлению процессов схватывания и твердения вяжущего, деструкции цементной системы, уменьшению прочности конечного продукта. Поэтому при производстве таких материалов возникает задача правильного выбора типа пенообразователя и определения его оптимальной концентрации.

С целью выявления пенообразователя с наименьшим деструктивным воздействием на вяжущую систему были проведены экспериментальные исследования примененных пенообразователей и оценено их влияние на прочность БЩВ.

Не всякая пена может быть пригодна для производства поризованного арболита. Как для приготовления традиционного пенобетона, так и для поризованного арболита нужна специальная пена, получаемая на специальном оборудовании. Кроме того, если учесть, что на практике еще до настоящего времени не разработаны составы пеноарболитовых композиций на основе БЩВ, первоочередной задачей является исследование влияния пенообразователей на основные свойства БЩВ и выбор оптимального пенообразователя для использования последнего в производстве поризованного арболита.

В связи с этим дальнейшие наши исследования были направлены на изучение влияния пенообразователей на показатели БЩВ, такие как сроки схватывания, пластическая прочность и прочность при сжатии. За контрольное значение были приняты показатели состава БЩВ без добавки пенообразователей с Р/Ш, приближенной к составу поризованного арболита. Исследования проводились с учетом дополнительной добавляемой жидкости для приготовления пены, которая добавлялась в вяжущее.

Анализ полученных данных влияния добавок пенообразователей на сроки схватывания показал, что независимо от вида пенообразователя при использовании воды для приготовления пены сроки схватывания БЩВ удлиняются по мере увеличения пенообразователя до 1,5 % от массы вяжущего. А при использовании силиката натрия для приготовления пены этот показатель составляет 1 %. Дальнейшее увеличение количества пенообразователя приводит к резкому сокращению этого показателя.

Исследованиями установлено, что при использовании как воды, так и силиката натрия для приготовления пены до количественного содержания пенообразователя 1 % прочность вяжущего снижается. Дальнейшее увеличение количественного содержания добавки пенообразователя привело к возрастанию прочности при сжатии. В исследованиях ограничились изучением влияния пенообразователей до количества 2 %, так как по известным данным расход пенообразователя в денежном выражении не должен превышать 2\$ на 1 м<sup>3</sup> производимого поризованного материала. При превышении этого показателя его применение становится экономически нецелесообразным из-за большого влияния на себестоимость продукции. Причем, является очевидным, что более дорогие пенообразователи не увеличат качество продукции в соответствии с увеличенной стоимостью.

Пенообразователи являются поверхностно активными веществами, и, как известно, в начальный период поверхностно-активные вещества, являющиеся основной частью пенообразователя, достаточно сильно влияют на гидратацию минерального вяжущего. Происходит своего рода «отравление», и объясняется это тем, что в процессе кристаллизации новообразований из цементного геля между ними образуются коллоидные адсорбционные оболочки из пенообразователя. Они препятствуют

непосредственному срастанию зерен друг с другом и тормозят образование прочного пространственного каркаса.

Поэтому необходимой задачей является изучение пенообразователей на пластическую прочность БЩВ, так как пластическая прочность вяжущего материала означает набор прочности вяжущим в ранние сроки твердения. Поэтому эти исследования необходимы для уточнения набора пластической прочности БЩВ в присутствии пенообразователей, так как полученная пена из этих пенообразователей имеет определенную стойкость по времени. После истечения времени пена начинает разлагаться, и за этот период вяжущее должно набрать определенную прочность. Если этого не произойдет, полученный материал может сесть.

Исследования пластической прочности БЩВ в присутствии пенообразователей проводились на тех же составах, которые изучались, сроки схватывания и прочность БЩВ. Полученные результаты представлены на рис. 1.

Исследованиями установлено, что почти во всех составах незначительный рост пластической прочности наблюдается в течение 20-30 минут начального твердения. После истечения этого срока наблюдается интенсивный рост пластической прочности. Необходимо отметить, что по мере увеличения количества пенообразователя до 1,5 % почти во всех примененных пенообразователях рост пластической прочности сравнительно замедляется. Однако добавление пенообразователя 2 % от массы БЩВ привело к резкой интенсификации роста пластической прочности БЩВ. На наш взгляд, для объяснения этого случая необходимо провести дополнительные физико-химические исследования. Для определения совместимости БЩВ с использованием данных пенообразователей были приготовлены опытные образцы пенобетона (без органического заполнителя). Установлено, что пенобетонные образцы, изготовленные с использованием пенообразователей Сетора и Винпор осели в объеме, а использование пенообразователя «Ареком-4» позволило получить пенобетонные образцы стабильного объема. Из проведенных исследований установлено, что по устойчивости и стабильности пены из использованных пенообразователей для изготовления поризованного арболита лучшим является пенообразователь «Ареком-4», и поэтому в дальнейших исследованиях пользовались данным пенообразователем.

Рост прочности неавтоклавных поризованных бетонов значительно отличается от роста прочности обычного бетона. При естественном твердении обычный бетон набирает 90-100 % своей прочности, а поризованные бетоны, например, пенобетон за это время – лишь около 50 %. Остальную часть прочности пенобетон набирает в течение 6 месяцев /3/. В поризованных бетонах на основе портландцемента о причине данного аномального явления есть гипотеза: пенообразователь как поверхностно-активное вещество обволакивает частицы клинкерных минералов и наполнителя, тем самым замедляет процесс твердения /4/.

Полученные нами результаты исследований показывают, что остаточная влажность поризованных теплоизоляционных арболитовых композиций зависит от условий твердения. Например, теплоизоляционные арболитовые композиции на рисовой лузге, твердевшие в естественных условиях, имеют остаточную влажность от 4 до 18 % в зависимости от средней плотности. Этот показатель для поризованных арболитовых композиций составляет от 5,5 до 22,5 % для образцов, изготовленных на дробленых стеблях хлопчатника и от 2 до 27 % соответственно для образцов, изготовленных на костре кенафа. Необходимо отметить, что чем ниже средняя плотность исследуемых материалов, тем выше влажность в естественном состоянии.

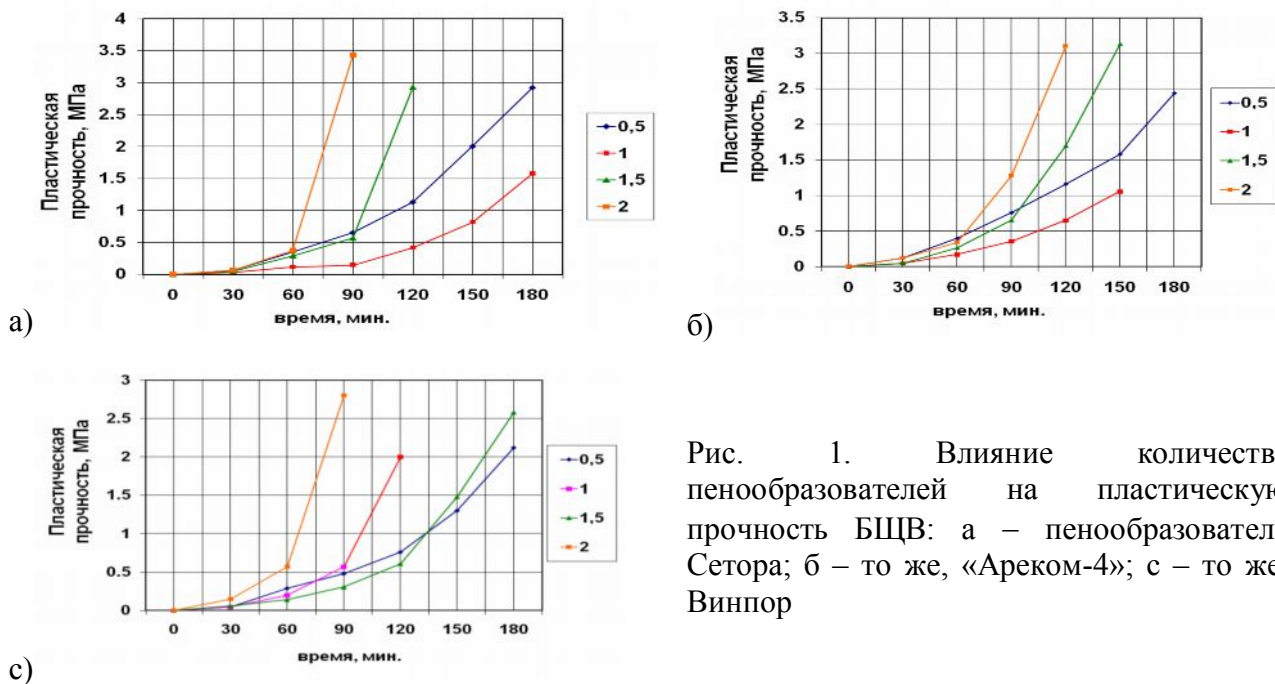


Рис. 1. Влияние количества пенообразователей на пластическую прочность БЩВ: а – пенообразователь Сетора; б – то же, «Ареком-4»; с – то же, Винпор

Прочность материала стенок ячеистой структуры поризованных арболитовых композиций, как и у поризованного бетона на портландцементном вяжущем, определяется количеством воды затворения. В нашем случае количество добавляемой воды состоит из суммы воды для приготовления пенной массы и воды, содержащейся в растворе щелочного компонента. При твердении БЩВ только определенная часть воды участвует в процессе гидратации. Количество химически связанной воды при гидратации БЩВ в среднем составляет 15-20 % от массы алюмосиликатного компонента БЩВ.

Избыточное количество воды, раздвигая частицы алюмосиликатного компонента с оболочками из продуктов гидратации, образует прослойки и скопления в толще камня БЩВ. После высыхания и постепенного расходования воды на продолжающиеся процессы гидратации в камне БЩВ остаются пустоты, каналы и отдельные замкнутые поры.

Полученные результаты исследований прочности поризованных арболитовых композиций показывают, что они зависят не только от средней плотности поризованного материала, но и от вида использованного органического заполнителя, а также от условий твердения.

Поризованные арболитовые композиции, изготовленные на других органических заполнителях (стебли хлопчатника и костры кенафа) при одинаковых плотностях имеют прочность при сжатии до 2 раз ниже по сравнению с прочностью образцов, изготовленных на рисовой лузге.

Такое различие можно объяснить тем, что рисовая лузга распределяется равномерно по всему объему образца. Другие органические заполнители, имея фракции большего размера по сравнению с фракциями рисовой лузги, распределяются по всему объему неравномерно, тем самым снижается прочность. Кроме того, водопоглощение органических заполнителей также различно, а оно влияет на прочность и влажность образцов. Поэтому прочность камня БЩВ понижается по мере увеличения влажности образцов.

Проведенными исследованиями получены поризованные арболитовые композиции на основе БЩВ и целлюлозосодержащих отходов сельского хозяйства с прочностью от 0,04 до 2,6 МПа соответственно при плотности от 330 до 800 кг/м<sup>3</sup>, которые отвечают требованиям нормативных документов.

## Выводы

Исследовано влияние пенообразователей на основные свойства БЩВ (сроки схватывания, прочность и пластическую прочность) как основного составляющего поризованного теплоизоляционного арболита. Установлено, что наиболее совместимым по устойчивости к БЩВ является пенообразователь «Ареком-4».

Впервые получен поризованный арболит на БЩВ и местных органических заполнителях, который может быть использован для теплоизоляции жилых зданий.

Разработаны поризованные арболитовые составы на основе безобжигового щелочного вяжущего и органических растительных отходов (рисовая лузга, костра кенафа, стебли хлопчатника) с прочностью при сжатии от 0,04 до 2,6 МПа и средней плотности 330-800 кг/см<sup>3</sup> соответственно.

Исследованы структуры поризованного арболита, и показано, что открытая пористость разработанных составов находится в пределах 32,83-56,28 %.

На основе полученных экспериментальных данных разработаны параметры промышленной технологии получения поризованного арболита на основе безобжиговых щелочных вяжущих и рисовой лузги.

### Список литературы

1. Tulaganow A., Kamilov Kh., Khasanova M. Wärmedämmende Baustoffe auf der Basis von ungebrannten Alkali-Bindemitteln. 18. Internationale Baustofftagung. 12.-15. September 2012. F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar, BRD. Tagungsbericht – Band 2. S. 969-978.
2. Портник А.А. Все о пенобетоне. – СПб., 2003. – 224 с.
3. Абрамзон А.А., Зайченко Л.П., Файнгольд С.И. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, свойства, применение. – Л.: Химия, 1988. – 200 с.