

*Сапелин А. Н., аспирант
Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва
Елистраткин М. Ю., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

ЛЁГКИЕ БЕТОНЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

sapelinan@mail.ru

В последние годы всё большее значение в мире приобретают исследования связанные с оптимизацией системы «человек – материал – среда обитания». От комплексного решения проблем энерго-сбережения, экологии и создания комфортных условий для человека, в конечном счете, зависит его выживание на планете Земля. Теплозащитные свойства большинства применяемых стеновых материалов крайне уязвимы от попадания в них воды. С позиции геоники и геомиметики наиболее совершенным их природным аналогом является обыкновенная пемза. Приблизиться к ней по свойствам может лёгкий бетон на основе алюмосиликатных микросфер, обладающих практически нулевым водопоглощением. Слабым местом в данной системе становится матрица материала. Снижение её пористости возможно за счёт перехода с портландцемента на композиционное вяжущее, имеющее более плотную структуру камня и позволяющее уменьшить толщину прослойки между частицами заполнителя.

Ключевые слова: *алюмосиликатные микросферы, композиционное вяжущее, лёгкий бетон, капиллярная пористость, увлажнение конструкций, теплопроводность.*

Введение. В последние годы всё большее значение в мире приобретают исследования связанные с оптимизацией системы «человек – материал – среда обитания». Проблемы энергосбережения, экологии, создания комфортных условий для человека, в конечном счете, отразятся на демографии и, в итоге, на выживании вида *homo sapiens* на планете Земля [1-3].

В связи с этим, при строительстве жилых и промышленных объектов, наиболее востребованным конструкционно-теплоизоляционным стеновым материалом в последнее время стал газосиликат. Свои позиции сохраняет так же и керамзитобетон. Эти два материала применяются как в частном малоэтажном домостроении, так и в многоэтажных зданиях каркасного типа. При очень хорошем наборе эксплуатационных характеристик и высокой технологичности, они, как и любые материалы, имеют и свои слабые места.

Особенностью строения автоклавного ячеистого бетона является преобладание внутри материала сообщающихся пор, открытых с поверхности – результат резки массива на изделия. Это делает уязвимыми теплозащитные свойства материала от попадания в него воды. Водопоглощение ячеистого бетона плотностью 400 кг/м³, может достигать до 80% по объёму. Безусловно, в условиях реальной эксплуатации такая степень увлажнения материала может возникнуть только в чрезвычайных ситуациях (наводнение, аварии систем отопления и водоснабжения). Однако, повышение влажности газосиликата с 10 до 20% (при плотности 500 кг/м³), приведёт к повышению его теплопровод-

ности на 30-40%. При однослойной конструкции стены пропорционально вырастут и теплопотери через неё. Вероятность подобной или большей степени увлажнения конструкций, несмотря на наличие внешнего декоративно-защитного штукатурного слоя, в последние годы выросла и в районах с континентальным климатом, ввиду изменения характера зим. Так зима 2013-2014 г в центрально-чернозёмном регионе и, в частности на Белгородчине, началась с месяца непрекращающихся дождей, резко перешедших в сильные морозы. Многие обитатели коттеджей возведённых, отметили снижение внутренней температуры и повышение расхода газа на отопление.

Несколько лучше ситуация при возведении стен из керамзитобетонных блоков. Их теплофизические характеристики делают нерациональным возведение однослойной стены на их основе. Как правило, имеет место трёхслойная конструкция с внутренним размещением утеплителя (чаще всего пенополистирольного), или же производится наружное утепление стены (чаще всего изделиями на основе минеральной ваты) с созданием навесного фасада или оштукатуриванием по утеплителю.

В подобных случаях поведение стены при контакте с влагой во многом зависит от грамотности принятых технических решений на стадии проектирования и качества реализации их на практике. Очень часто имеют место нарушения рекомендаций производителя в части выбора и правильного применения паро- и гидроизоляционных плёнок, не обеспечивается вентиляция минераловатного слоя, не учитывается довольно

высокое водопоглощение пенополистирольного утеплителя и т.п. Всё это не позволяет в полной мере раскрыть потенциал материалов и противоречит концепции энергосбережения [4-6].

Учитывая вышесказанное, можно предположить, что будущее за однослойными конструкциями стен, как за более простыми и менее критичными к уровню культуры производства строительных работ. Подтверждение этому можно найти, если взглянуть на вопрос с позиций геоники и геомиметики. Наиболее совершенным прообразом рассмотренных выше материалов является обыкновенная пемза. Она практически лишена указанных недостатков, имеет крайне низкое водопоглощение, высокую прочность и долговечность, низкую плотность. Природой в неё заложен огромный потенциал, что предельно упрощает её применение. К этому же принципу нужно стремиться, создавая искусственные строительные композиты. Природа – великий банк идей, не затрагиваемый законами об охране интеллектуальной собственности [1, 2].

Методология. Сорбция материалов определялась путём периодического взвешивания образцов, размещённых в эксикаторе над слоем воды; зерновой состав вяжущих определялся методом лазерной гранулометрии; помол материалов осуществлялся в лабораторной шаровой мельнице; определение физико-механических и теплофизических характеристик материалов осуществлялось по стандартным методикам.

Основная часть. Алюмосиликатные микросферы, по совокупности своих свойств, уникальны. Образуясь как отход одного производства, они могут стать основой целой гаммы строительных материалов пониженной плотности. Залог этого – простота их применения. Наличие водонепроницаемой оболочки у каждой из частиц, предрасполагает к получению композитов на их основе путём омоноличивания с помощью гидравлических вяжущих веществ.

Сорбционное увлажнение самих микросфер незначительно (рис.1) и связано только с высокой площадью поверхности частиц, которая составляет порядка $200 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Рядом исследователей были предложены пористые бетоны на основе микросфер и портландцемента, однако их показатели по величине водопоглощения и, особенно, сорбции, не на много ниже чем у газосиликата и керамзитобетона. Причиной этого является высокая капиллярная пористость матрицы подобных материалов.

Решение этой проблемы возможно с учётом закона сродства структур. Только учёт подобия компонентов на нано-, микро- и макроуровне

при проектировании композиционных материалов позволяет создать системы нового поколения [7-9].

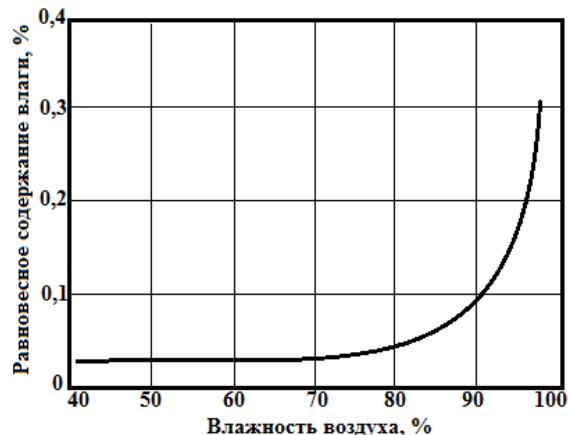


Рис. 1. Сорбционная кривая алюмосиликатных микросфер

С учётом этого для повышения плотности структуры цементного камня использовалось композиционное вяжущее полученное по технологии ВНВ. Не смотря на более чем 30 летнюю историю его изучения и известность, широкого практического применения данный материал не получил. Возможной причиной этого, является то, что только в последние годы сформировалась и развивается идеология целенаправленного получения композитов с учётом реальных потребностей человека и взаимосвязи материала со средой его обитания [3].

Идеология получения ВНВ позволяет заложить в него тот потенциал, который необходим для изготовления конкретного материала с заданными свойствами, сосредоточить материальные и энергозатраты на стадии подготовки данного вяжущего, предельно снизить их на последующих переделах, и в итоге, сократить их общее количество [10].

За счёт малого размера частиц ВНВ появляется возможность уменьшить толщину прослойки цементного камня между частицами заполнителя, снизить расход вяжущего, плотность и капиллярную пористость конечного продукта.

На основе портландцемента ПЦ500Д0 (ГОСТ 10178-85) за счёт помола в шаровой мельнице было получено вяжущее низкой водопотребности. В качестве пластифицирующей и интенсифицирующей помол добавки был использован суперпластификатор С-3 в количестве 1,5% от массы вяжущего. Нормальная густота полученного ВНВ составляла 18-20%, активность 78-82 МПа.

Как видно из графиков (рис. 2), средний размер частиц портландцемента составляет 50-70 мкм, при этом в нём содержится достаточно

большое количество частиц размером более 100 мкм. Удельная поверхность портландцемента находится в пределах 300-330 м²/кг. В результате помола с суперпластификатором удельная поверхность возрастает до 500...550 м²/кг, средний размер частиц уменьшается до 25 мкм, т.е. в

2-2,5 раза. Диапазон размеров частиц существенно снижается, зёрна более 75-80 мкм практически отсутствуют. Причиной этого является известный факт, чем меньше размер частицы, то тем ниже её дефектность и тем сложнее её разрушить.

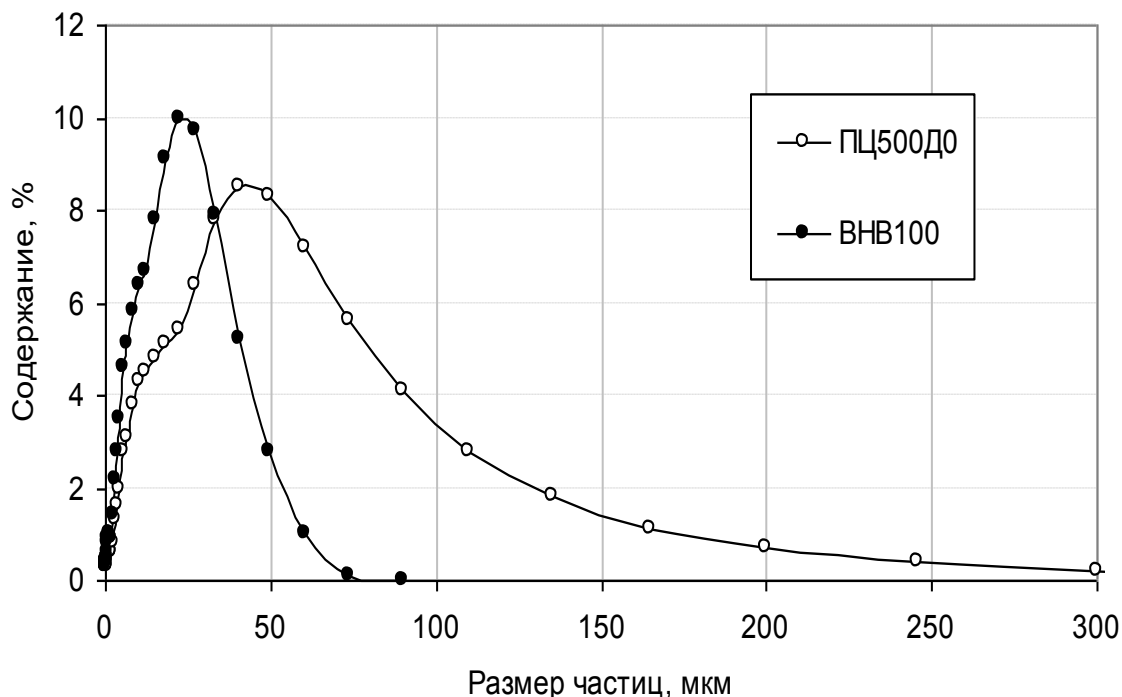


Рис. 2. Зерновой состав вяжущих

Средний размер микросфер составляет 0,1-0,2 мм. Для сравнения, преобладающий размер частиц типичного белгородского кварцевого природного песка с $M_{кр}=1,1$ составляет 0,2-0,5 мм. Разница в размерах зёрен этих заполнителей составляет те же самые 2-2,5 раза. При переходе на более мелкий заполнитель, которым являются микросферы, обоснованным является пропорциональное увеличение дисперсности вяжущего, это, позволяет спроецировать на новую систему принципы и зависимости выработанные на многолетнюю историю изучения цементно-песчаных растворов.

Для подбора состава формовочной массы на вяжущем низкой водопотребности, принимаем максимальную упаковку микросфер равной $0,73 \div 0,8$. Тогда отношение объема пустот к объему микросфер

$$\frac{V_{пуст}}{V_{микр}} = 0,27/0,73 \div 0,2/0,8 = 0,37 \div 0,25$$

Если пустоту заполнить цементным тестом, отношение массы цементного раствора к массе микросфер

$$\frac{M_{ц.р.}}{M_{микросфер}} = \frac{0,27 \cdot 2200}{0,73 \cdot 600} \div \frac{0,2 \cdot 2200}{0,8 \cdot 600} = 1,36 \div 0,92$$

Учитывая то, что между микросферами должно быть пространство с цементным раствором принимаем, что отношение массы раствора к массе микросфер должно быть более 1,4 (плотность портландцемента 3100 кг/м³, плотность раствора ВНВ – около 2200 кг/м³, насыпная плотность микросфер 360 кг/м³, средняя – 600 кг/м³).

Таблица 1

Составы материала на основе ВНВ и алюмосиликатных микросфер

Название	Вяжущее, кг	Микросферы, кг	Вода, л	В/Ц	В/Т	$\frac{M_{ц.р.}}{M_{микросфер}}$
МСЦ-1	2,8	0,6	0,7	0,25	0,21	5,8
МСЦ-2	1,556	0,672	0,499	0,32	0,22	3,1
МСЦ-3	1,150	0,744	0,637	0,55	0,34	2,4
МСЦ-4	0,778	0,84	0,835	1,07	0,52	1,9
МСЦ-5	0,635	0,96	0,873	1,37	0,55	1,6
МСЦ-7	0,333	0,96	1,033	3,10	0,80	1,4

Формование образцов производилось на вибростоле. Твердение происходило в воздушно влажных условиях в течение 28 сут.

Основные физико-механические свойства полученных материалов представлены в табл. 1. Для сравнения приведены требования в ячеистым бетонам в соответствии с ГОСТ 25485-89.

Таблица 2

Свойства материала МСЦ в сравнении с ячеистым бетоном

Требования по ГОСТ 25485			Экспериментальные значения показателей образцов на основе портландцемента			
Плотность, кг/м ³	Максимальная прочность, МПа	Минимальная прочность, МПа	Состав	Плотность ρ , кг/м ³	Прочность R, МПа	$\lambda_{\text{ср}}$, Вт/(м·К)
400	2,2	0,7	—	—	—	—
500	3,6	1,1	МСЦ-7	478	2,0	0,14
600	5	1,4	МСЦ-5	575	6,6	0,17
700	7,2	2,2	МСЦ-4	677	8,9	0,20
800	10,7	2,9	—	—	—	—
900	14,3	3,6	МСЦ-3	864	22,1	0,30
1000	17,9	7,2	—	—	—	—
1100	21,5	10,7	МСЦ-2	1076	35,1	0,38
1200	21,5	14,3	—	—	—	—
			МСЦ-1	1407	63,1	0,44

Как видно из табл. 2 прочность полученных материалов превышает требования к аналогичному показателю у ячеистых бетонов. Наиболее привлекательными являются составы МСЦ-4 и 5. При этом технология изготовления данного материала существенно проще чем у газосиликата. Отсутствуют такие тонкие процессы как вспучивание массивов, чувствительные к минимальным изменениям температуры, влажности массы, состава и свойств сырья, механическим

воздействиям. Значительно упрощается процесс ТВО, появляется возможность применять для этих целей не пар, а продукты сгорания природного газа, что позволяет регулировать конечную влажность изделий. Использовать энергию солнца и т.д.

Как видно из графиков (рис.3) водопоглощение материала на основе микросфер в 2-3 раза ниже во всём диапазоне рассмотренных плотностей.

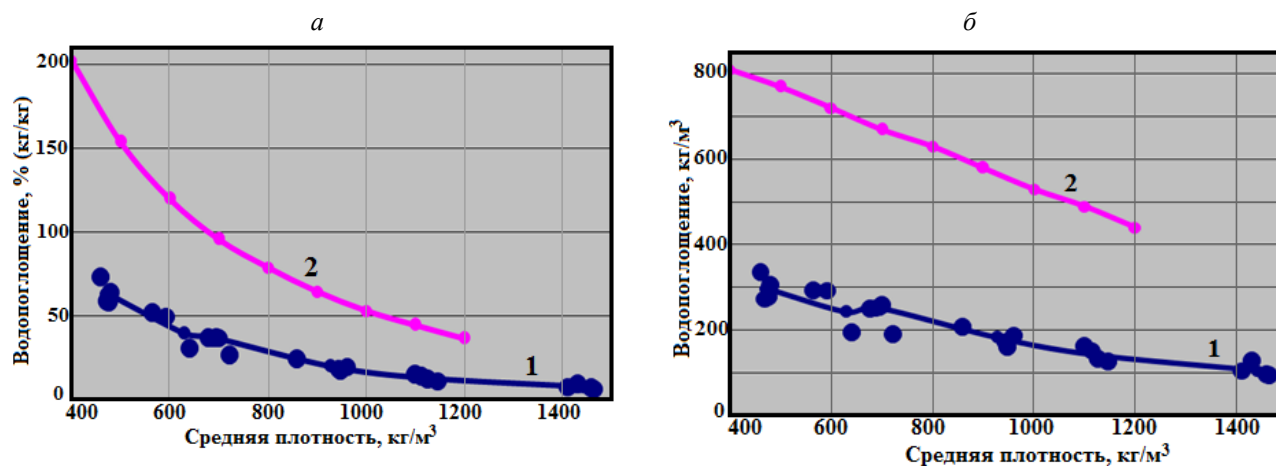


Рис. 3. Зависимость водопоглощения по массе (а), объёму (б) от плотности материалов: 1 – материал МСЦ; 2 – ячеистый бетон

Теплопроводность материалов на основе ВНВ и алюмосиликатных микросфер (рис. 4) существенно меньше зависит от степени увлажнения конструкции. Несколько лучший показатель теплопроводности ячеистого бетона в сухом состоянии, на практике не имеет существенного значения, поскольку влажность конструкций даже в относительно сухих условиях может доходить до 5 %.

Выводы. Таким образом, разработанный материал по совокупности эксплуатационных характеристик может стать достойной альтернативой автоклавному ячеистому бетону, особенно в сложных условиях эксплуатации. Тот факт, что его основу составляет отход промышленности, а дополнительные энергозатраты в ходе его получения (помол ВНВ) направлены на повышение эффективности использования, а, следо-

вательно, экономию такого энергоёмкого материала как портландцемент, полученный композит по своей идеологии можно отнести к группе,

так называемых, «зелёных бетонов». А именно за подобными материалами уже ближайшее будущее.

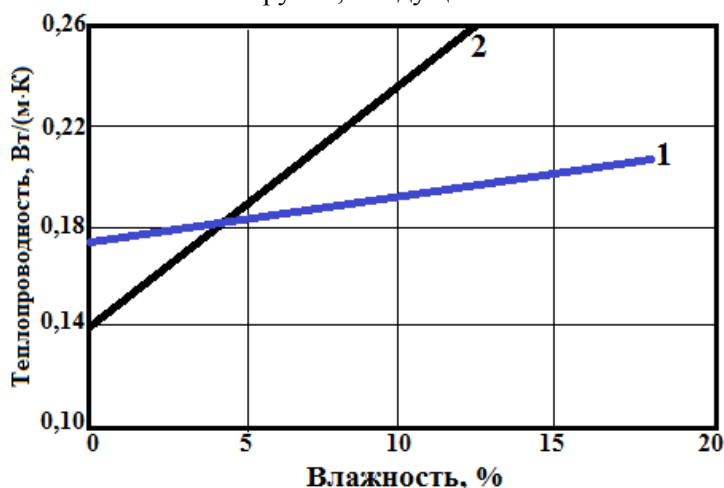


Рис. 4. Зависимость теплопроводности от влажности материалов на основе микросфер МСЦ-5 $\rho_{\text{ср}} \approx 600 \text{ кг/м}^3$ (1) и ячеистого бетона (2) $\rho_{\text{ср}} = 630 \text{ кг/м}^3$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lesovik V.S. Geonics. Subject and objectives. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 100 р.
2. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи: монография – 2-е изд., доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 219 с.
3. Лесовик, В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7. С. 96.
4. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 84–87.
5. Гридчин А.М., Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пушкаренко А.С., Василенко А.В. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. М.: Изд. АСВ. 2008. 595 с.
6. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследова-

ний. // Высшее образование в России. 2014. №3. С.77-83.

7. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. 2014. №3. Часть 2. С. 267-271.

8. Lesovik V.S. Zagorodnuk L. H., Shkarin A. V., Belikov D. A., Kuprina A. A. Creating Effective Insulation Solutions, Taking into Account the Law of Affinity Structures in Construction Materials. World Applied Sciences Journal. 2013. Number 24 (11). P.1496-1502

9. Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Mahmoud Shakarna Using a solution based on perlite sand plaster decoration of buildings and Structures // Journal of the Faculty of Engineering University of Diyala. 2013. Number 4. p.45-57

10. Елистраткин М.Ю. Ячеистый бетон на основе ВНВ с использованием отходов КМА: Автореф. дис. канд. техн. наук. Белгород, 2004. 22 с.