

А. Ю. ЖИГУЛИНА
А. Г. ЧИКНОВОРЬЯН

ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СИЛИКАТНАТРИЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ

AGGREGATE FOR GENERAL PURPOSE CONCRETE
BASED ON SILICATE SODIUM COMPOSITION

Изложенные результаты исследований позволяют решить задачу расширения номенклатуры пористых заполнителей. Дан краткий анализ характеристик керамзитового гравия. Обосновывается перспективность создания высокопористых структур на основе гидросиликата натрия. Дано описание технологии производства гранулированного материала на основе гидросиликата натрия, хлорида натрия и монтмориллонитовой глины. Приводятся основные характеристики разработанного гранулированного материала и делаются выводы о возможности его использования в качестве мелкого заполнителя бетонов общестроительного назначения и теплоизоляционных засыпок. Доказывается достаточная стойкость этих бетонов в условиях попеременного увлажнения и высушивания. Изложен опыт изыскания эффективных технологических способов для снижения средней плотности керамзитобетона в панелях наружных стен жилых и общественных зданий.

Ключевые слова: пористый заполнитель, керамзитовый гравий, растворимое стекло, эффективные строительные материалы

Среди современных эффективных строительных материалов керамзит занимает особое место. Объясняется это сочетанием легкости, прочности и долговечности керамзита и изделий на его основе.

Низкая плотность керамзита объясняется высокопоризованной структурой, образующейся при термическом вспучивании специальных глин. Прочность и долговечность являются свойствами керамической основы материала.

Область применения керамзита весьма широка – от жилищного строительства до изготовления специальных конструкций путепроводов и мостов.

Довольно широко используется керамзит и в дорожном строительстве, как в виде керамзитобетонных конструкций, так и в качестве «мягких подушек», незаменимых при слабых грунтах, склонных к проседанию. Особо отмечается

The presented research results allow solving the problem of expanding the range of porous fillers. A brief analysis of the characteristics of expanded clay gravel is given. The prospects of creating highly porous structures based on sodium hydrosilicate are substantiated. A description of the technology for the production of granulated material based on sodium hydrosilicate, sodium chloride and montmorillonite clay is given. The main characteristics of the developed granular material are given and conclusions are drawn about the possibility of its use as a fine aggregate for general construction concrete and heat-insulating fillings. Sufficient resistance of these concretes under conditions of alternating wetting and drying is proved. The experience of finding effective technological methods for reducing the average density of expanded clay concrete in the panels of the outer walls of residential and public buildings is outlined.

Keywords: porous aggregate, expanded clay gravel, soluble glass, efficient building materials

способность керамзита нивелировать разницу в температурных колебаниях, что помогает избежать замерзания и оттаивания дорожного полотна, а следовательно, и его обледенения.

К немногочисленным, но существенным недостаткам керамзита можно отнести:

- использование специальных легковспучивающихся глин, месторождения которых уникальны и исчерпаемы;
- высокие (порядка 1200–1250 °С) температуры обжига сырья и связанное с этим сложное и дорогостоящее оборудование.

Целью работы, результаты которой изложены в данной статье, являлась разработка технологии производства пористого заполнителя, сравнимого по своим характеристикам с керамзитовым гравием, но не имеющего недостатков, отмеченных выше.

Одним из эффективных способов создания высокопористой структуры является тер-

мическая обработка «растворимого» стекла. По своему составу «растворимое» стекло является концентрированным раствором гидросиликата натрия. Установлено, что гидросиликат натрия уже при температуре 250–300 °С интенсивно вспучивается, увеличивая объем в 50–70 раз [1, 2]. Это свойство делает жидкое стекло пригодным для производства теплоизоляционных изделий. Недостатком получаемого высокопористого материала являются его низкие прочность и водостойкость. Поэтому актуальным направлением является создание технологии получения технологичных высокопористых структур на основе жидкого стекла. Над решением этой проблемы работают многие научные коллективы [3–16].

Авторами была выдвинута гипотеза о возможности создания на основе модифицированного растворимого стекла высокопористых материалов, структурно аналогичных керамзиту, которые могут быть использованы в качестве легких заполнителей.

Для решения данной проблемы была изучена возможность создания композиций на основе гидросиликата натрия с добавлением различных минеральных компонентов. Итогом исследований является разработанная технология производства пористого заполнителя на основе модифицированного хлоридом натрия гидросиликата натрия с добавлением монтмориллонитовой глины, месторождения которой широко распространены, в частности, и в Среднем Поволжье.

Технология заключается в изготовлении гомогенной сырьевой смеси из указанных выше компонентов, грануляции полученной массы и ее термообработки при температуре 250–300 °С.

В результате термообработки сырцовых гранул получен материал плотностью 450–550 кг/м³.

Испытания полученного гранулированного материала при сдавливании в цилиндре показали его достаточную прочность при сжатии – 0,84 МПа. Недостатком материала является низкая водостойкость – потери прочности в насыщенном водой состоянии составили 65 %.

В ходе дальнейших исследований было установлено, что улучшить эксплуатационные характеристики полученного гранулированного материала можно путем его термообработки при температурах 850–900 °С.

После такой термообработки не только увеличивается прочность материала при сжатии, но значительно возрастает водостойкость – потери прочности в насыщенном водой состоянии составляли 14,5 %, что позволяет считать

данный материал водостойким. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Достаточно высокая прочность объясняется наличием плотной и прочной корочки на поверхности гранул.

Водостойкость материала возрастает вследствие появления при обжиге низкоплавких эвтектик, возникающих за счет образования соединений натрийсодержащих компонентов, а также керамических новообразований.

Испытания показали возможность получения по разработанной технологии материала с различным размером гранул, начиная от 2 мм, что позволяет использовать его в качестве дефицитного мелкого пористого заполнителя (рис. 1).

Указанные характеристики разработанного гранулированного материала позволили сделать заключение о возможности использования его как в качестве засыпного материала, так и в качестве пористого заполнителя для производства легких бетонов [17].

Для подтверждения этой гипотезы были проведены эксперименты, в ходе которых полученный гранулированный материал был использован в качестве заполнителя для изготовления бетона с различным расходом портландцемента.

Полученные бетоны имели следующие характеристики:

расход портландцемента, на 1 м³ бетона – 200–250 кг;

плотность бетонов – 690–770 кг/м³;

прочность при сжатии на 28-е сутки твердения – 3,8–5,0 МПа.

Проведенные микроскопические исследования состояния контактной зоны «поверхность заполнителя – цементно-песчаный камень» в условиях многократного увлажнения и высушивания показали, что после 50 циклов «увлажнения-высушивания» бетонных образцов состояние контакта не имело видимых дефектов (рис. 2), что свидетельствует о высокой прочности и долговечности материала.

С другой стороны, технология производства трехслойных наружных стеновых панелей сопряжена со значительным усложнением процесса формования изделий, а также с использованием высокоэффективных дорогостоящих теплоизоляционных материалов. При таких условиях очевидным будет изыскание новых способов улучшения теплоизоляционных характеристик однослойных конструкций.

На сегодняшний день в нашей стране созданы предприятия по производству легких

Таблица 1

Основные характеристики гранулированного материала

Показатель	После вспучивания при 250 °С	После термообработки при 850 °С
Насыпная плотность, кг/м ³	455	480
Состояние поверхности	Плотная корочка	Плотная корочка
Структура	Пористая	Пористая
Прочность, МПа	0,84	1,25
Водостойкость, потери прочности в насыщенном водой состоянии, %	65	14,5

заполнителей, в том числе и керамзитового гравия. Легкие заполнители широко используются на заводах сборного железобетона для изготовления стеновых панелей.

Стеновые панели из керамзитобетона являются паропроницаемыми и обеспечивают здоровый микроклимат в помещениях жилых и общественных зданий и сооружений. В таких зданиях отпадает необходимость в устройстве специальных систем кондиционирования воздуха.



Рис. 1. Гранулы после обжига при 850 °С



Рис. 2. Состояние контактной зоны «гранула заполнителя – цементно-песчаный камень» после 50 циклов «увлажнение–высушивание»

Одним из направлений повышения эффективности стеновых панелей является уменьшение плотности легкого бетона в однослойных панелях наружных стен.

Уменьшение плотности и теплопроводности легкого бетона может быть достигнуто за счет снижения плотности крупного заполнителя и путем поризации цементного камня.

Такой подход позволит обеспечить получение легкого бетона слитной структуры с проектными строительно-технологическими свойствами.

Процесс приготовления бетонной смеси производится в следующей последовательности: сначала осуществляется загрузка в смеситель заполнителя, цемента и воды, а затем после предварительного перемешивания смеси в смеситель добавляют раствор пенообразователя и перемешивают смесь до готовности. При перемешивании смеси происходит насыщение цементного теста замкнутыми воздушными порами, что приводит к снижению средней плотности и повышению термического сопротивления наружной стеновой панели.

У бетонной смеси с вовлеченным воздухом улучшаются показатели удобоукладываемости и снижается склонность к расслаиваемости и водоотделению в процессе формирования стеновых панелей.

Основные показатели легкого бетона с поризованным цементным камнем, приготовленного на портландцементе ПЦ М400 и керамзитовом гравии с маркой по насыпной плотности М400, приведены в табл. 2.

Наличие в бетоне разобращенных замкнутых мелких сферообразных пор обеспечивает его достаточную водонепроницаемость и морозостойкость при пониженной гигроскопичности.

Для улучшения стабильности свойств бетонной смеси и повышения устойчивости пены в водный раствор пенообразователя вводят раз-

Основные показатели легкого бетона

Показатель	Величина показателя для легких бетонов проектной марки (класса) по прочности		
	M35 (B2,5)	M50 (B3,5)	M75 (B5)
Расход цемента, кг/м ³	280	350	400
Расход пенообразователя, % от массы цемента	1,8–2,0	1,3–1,7	0,8–1,2
Объем вовлеченного воздуха, %	10–12	8–10	7–9

личные стабилизаторы, например эмульсии на основе водорастворимых полимерных смол.

С целью экономии цемента в поризованный бетон вводятся высокодисперсные минеральные компоненты, например отходы производства – золы сухого удаления от горения низкокальциевых каменных углей на тепловых электростанциях.

Стены из поризованного легкого бетона следует облицовывать наружным и внутренним отделочными слоями, например из цементно-песчаного раствора.

Практика эксплуатации таких стен показала, что они обеспечивают нормативное термическое сопротивление и эффективное и экономное расходование энергетических ресурсов на отопление зданий.

Практика применения данного бетона позволила выявить ряд проблем, которые требуют проведения дополнительных исследований.

Опыт внедрения поризованного легкого бетона позволил сформулировать ряд задач, требующих проведения дополнительных исследований:

- высокий коэффициент вариации прочности поризованного бетона;
- невысокая стабильность вспененной массы по средней плотности во времени, а следовательно, неоднородность теплозащитных свойств бетона;
- отсутствие экспресс-методов оценки степени поризации смеси в процессе ее приготовления.

Несмотря на эти недостатки, поризованный легкий бетон обладает рядом существенных преимуществ, которые обуславливают его широкое применение в строительстве.

Выводы. 1. Разработана композиция, включающая гидросиликат натрия, хлорид натрия и монтмориллонитовую глину, на основе которой получен гранулированный материал, по эксплуатационным характеристикам не уступающий керамзитовому гравия той же плотности, но имеющий более низкую температуру производства (ниже почти на

300–350 °С), не требующий использования дефицитной легковспучивающейся глины.

2. Применение полученного гранулированного материала возможно как в качестве пористого заполнителя общестроительных легких бетонов, так и в виде теплоизоляционных засыпок.

3. Поризованные легкие бетоны слитной структуры без мелкого заполнителя позволяют:

- а) полностью отказаться от применения мелкого заполнителя;
- б) значительно снизить плотность и соответственно теплопроводность бетона;
- в) уменьшить водосодержание и соответственно отпускную влажность изделий;
- г) улучшить связность и удобоукладываемость смеси и добиться ряда других преимуществ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев П.Н., Матвеев М.А. Растворимое стекло. М.: Промстройиздат, 1956. 443 с.
2. Корнеев В.И., Данилов В.В. Производство и применение растворимого стекла. Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1991. 177 с.
3. Карнаухова Ю.П., Шарова В.В. Жидкое стекло из отходов кремниевого производства для шлакощелочных и золощелочных вяжущих // Строительные материалы. 1994. №11. С. 14–16.
4. Кудряков А.И., Радина Т.Н., Иванов М.Ю. Зернистый теплоизоляционный материал на основе модифицированного жидкого стекла из микрокремнезема // Строительные материалы. 2004. № 11. С. 12–13.
5. Патент 2158717, С04В28/26. Жидкостекляная композиция / Иващенко Ю.Г., Сурнин А.А., Зобкова Н.В.; заявитель и патентообладатель Саратовский государственный технический университет. № 99103832/03; заявл. 16.02.99; опубл. 10.11.2000 г. Бюл. № 31.
6. Патент РФ № 2177922, С04В28/26 С04В11:40. Способ получения пористого материала на основе жидкого стекла / Решетов В. А., Павлов В. Т., Павлов А. Т.; заявитель и патентообладатель Решетов

Вячеслав Александрович, Павлов Владимир Тихонович, Павлов Анатолий Тихонович. № 2000122266/03; заявл. 24.08.00; опубл. 10.01.02. Бюл. № 1.

7. Патент RU № 2267468, C04B 28/26, 2006. Сырьевая смесь и способ получения пеносиликатного теплоизоляционного материала / Кудряков А.И., Радина Т.Н., Иванов М.Ю.; заявитель и патентообладатель Братский государственный технический университет. № 2004109731/03; заявл. 30.03.04; опубл.:20.02.2012. Бюл. № 5

8. Патент РФ 2245861, C04B28/26. Жидкостекольная композиция / Иващенко Ю.Г., Фомин Р.В.; заявитель и патентообладатель Саратовский государственный технический университет. № 2002130689/03; заявл. 15.11.02; опубл. 10.02.2005 г. Бюл. № 4.

9. Патент RU №2455253. Способ получения конструкционно-теплоизоляционного строительного материала на основе алюмосиликатных микросфер / Бессонов И. В., Сапелин А. Н., Кордюков Н. П.; заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН). № 2011107564/03; заявл. 01.03.11; опубл.: 10.07.2012 г. Бюл. № 12.

10. Патент РФ 223597, C04B28/26. Жидкостекольная композиция / Иващенко Ю.Г., Фомин Р.В. / подача заявки: 2002-11-19. Опубл. 10.09.2004 г. Бюл. № 25.

11. Пат. 2333176 Российская Федерация, МПК C04B28/26, C04B111/20. Способ получения строительного материала / Фащевский А.Б.; заявитель и патентообладатель Фащевский Александр Болеславович, Фащевский Александр Александрович, Фащевский Михаил Александрович. № 2007108080/03; заявл. 05.03.07; опубл. 10.09.08, Бюл. № 25.

12. Пат. 2451644 Российская Федерация, МПК C03C11/00, C03B19/08. Способ получения конструкционно-теплоизоляционного пеностекла / Корсаков А.П., Корсаков А.А., Корсаков П.А.; заявитель и патентообладатель КОНАК ИНДАСТРИ ИНК (CONAC INDUSTRY INC) (VG). № 2010143290/03; заявл. 22.10.10; опубл. 27.05.12, Бюл. № 15.

13. Пат. 2455245 Российская Федерация, МПК C03C11/00, C03B19/08. Способ производства пеностекла / Леонидов В.З.; заявитель и патентообладатель Леонидов В.З. № 2011106913/03; заявл. 25.02.11; опубл. 10.07.12, Бюл. № 19.

14. Пат. 2448919 Российская Федерация, МПК C03C11/00, C03B19/08. Пеношлакостекло / Смолий В.А., Яценко Е.А., Гузий В.А.; заявитель и патентообладатель Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). № 2010137694/03; заявл. 09.09.10; опубл. 27.04.12, Бюл. № 12.

15. Пат. 2431619 Российская Федерация, МПК C03C11/00, C03B19/08. Способ изготовления глазурованного пеностекла / Щепочкина Ю.А.; заявитель и патентообладатель Щепочкина Ю.А. № 2010109597/03; заявл. 15.03.10; опубл. 20.10.11, Бюл. № 29.

16. Пат. 2452701 Российская Федерация, МПК C03C11/00, C03B19/08. Способ изготовления пеностекла (варианты) / Щепочкина Ю.А.; заявитель и патентообладатель Щепочкина Ю.А. № 2010149109/03; заявл. 30.11.10; опубл. 10.06.12, Бюл. № 16.

17. Mizuriaeov S.A., Zhigulina A.Yu., Solopova G.S. Production technology of waterproof porous aggregates based on alkali silicate and non-bloating clay for concrete of general usage // Procedia Engineering. 2015. I. 111. P. 540–544.

REFERENCES

1. Grigoriev P.N., Matveev M.A. *Rastvorimoe steklo* [Soluble glass]. Moscow, Promstroyizdat, 1956. 443 p.

2. Korneev V.I., Danilov V.V. *Proizvodstvo i primeneniye rastvorimogo stekla* [Production and use of soluble glass]. Leningrad, Stroyizdat, 1991. 177 p.

3. Karnaukhov Yu.P., Sharova V.V. Liquid glass from silicon production waste for slag-alkaline and gold-alkaline binders. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], 1994, no.11, pp. 14–16. (in Russian)

4. Kudyakov A.I., Radina T.N., Ivanov M.Yu. Granular thermal insulation material based on modified liquid glass made of microsilica. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], 2004, no.11, pp.12–13. (in Russian)

5. Ivashchenko Yu.G., Surnin A.A., Zobkova N.V. *Zhidkostekol'naja kompozicija* [Liquid-glass composition]. Patent RF, no.2158717, C04B28/26, 2000.

6. Reshetov V.A., Pavlov V.T., Pavlov A.T. *Sposob poluchenija poristogo materiala na osnove zhidkogo stekla* [Method of producing porous material based on liquid glass]. Patent RF, no. 2177922, C04B28/26, C04B111:40, 2002.

7. Kudyakov A.I., Radina T.N., Ivanov M.Yu. *Syr'evaja smes' i sposob poluchenija penosilikatnogo teploizoljacionnogo materiala* [Crude mixture and method of producing foam-silicate heat-insulating material]. Patent RF, no. 2267468, C04B 28/26, 2012.

8. Ivashchenko Y.G., Fomin R.V. *Zhidkostekol'naja kompozicija* [Liquid-glass composition]. Patent RF, no. 2245861, C04B28/26. 2005.

9. Bessonov I.V., Sapelin A.N., Kordyukov N.P. *Sposob poluchenija konstrukcionno-teploizoljacionnogo stroitel'nogo materiala na osnove aljumosilikatnyh mikrosfer* [Method for production of structural and heat-insulating construction material based on aluminosilicate microspheres]. Patent RF, no. 2455253, 2012.

10. Ivashchenko Y.G., Fomin R.V. *Zhidkostekol'naja kompozicija* [Liquid-glass composition]. Patent RF, no. 223597, C04B28/26, 2004.

11. Fachevsky A.B. *Sposob poluchenija stroitel'nogo materiala* [Method for production of construction material]. Patent RF, no. 2333176, 2008.

12. Korsakov A.P., Korsakov A.A., Korsakov P.A. *Sposob poluchenija konstrukcionno-teploizoljacionnogo penostekla* [Method for production of structural and heat-insulating foam glass]. Patent RF, no. 2451644, 2012.

13. Leonidov V.Z. *Sposob proizvodstva penostekla* [Foam glass production method]. Patent RF, no. 2455245, 2012.

14. Smoliy V.A., Yatsenko E.A., Guziy V.A. *Penosh-lakosteklo* [Foam glass]. Patent RF, no. 2448919, 2012.

15. Shchepochkina Yu.A. *Sposob izgotovleniya glazurovannogo penostekla* [Method for production of glazed foam glass]. Patent RF, no. 2431619, 2011.

16. Shchepochkina Yu.A. *Sposob izgotovleniya penostekla (varianty)* [Method of making foam glass (versions)]. Patent RF, no. 2452701, 2012.

17. Mizuriaeov S.A., Zhigulina A.Yu., Solopova G.S. Production technology of waterproof porous aggregates based on alkali silicate and non-bloating clay for concrete of general usage. *Procedia Engineering*. 2015. I. 111. P. 540–544.

Об авторах:

ЖИГУЛИНА Анна Юрьевна

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры производства строительных
материалов, изделий и конструкций
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: auzhigulina@mail.ru

ZHIGULINA Anna Yu.

PhD in Engineering Science, Associate Professor
of the Production of Building Materials,
Products and Structures Chair
Samara State Technical University
Academy of Civil Engineering and Architecture
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: auzhigulina@mail.ru

ЧИКНОВОРЬЯН Александр Григорьевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры производства строительных
материалов, изделий и конструкций
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: umu-sgasu@mail.ru

CHIKNOVORYAN Alexandr G.,

PhD in Engineering Science, Associate Professor
of the Production of Building Materials,
Products and Structures Chair
Samara State Technical University
Academy of Civil Engineering and Architecture
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: umu-sgasu@mail.ru

Для цитирования: Жигулина А.Ю., Чикноворьян А.Г. Заполнитель для бетонов общестроительного назначения на основе силикатнатриевой композиции // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 2. С. 79–84. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.11.

For citation: Zhigulina A.Yu., Chiknovoryan A.G. Aggregate for General Purpose Concrete Based on Silicate Sodium Composition. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 2, pp. 79–84. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.11.