

О.А. МИРЮК

*Рудненский индустриальный институт, Рудный, psm58@mail.ru***СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ СИЛИКАТНОГО ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

Статья посвящена проблеме расширения сырьевой базы строительной индустрии. Приведены результаты исследований бетонов пористой структуры. Экспериментально подтверждена возможность получения пенобетона из вяжущего на основе металлургического шлака и техногенного стекла. В качестве затворителя использовано жидкое стекло. Бетонные смеси готовили методом вспенивания суспензии, состоящей из всех сырьевых компонентов. Определено влияние состава растворов на образование пены. Установлены рациональные соотношения между твердыми и жидкими компонентами сырьевой массы. Исследовано влияние различных технологических факторов на структуру пористых материалов. Результаты исследований поризации свидетельствуют о преимущественном влиянии на формирование ячеистой структуры вида пенообразователя, состава и количества щелочного затворителя. Выявлена предпочтительность синтетических пенообразователей. Приведены характеристики средней плотности и прочности пенобетонов, полученных из техногенных материалов.

Ключевые слова: бой стекла, металлургический шлак, пенобетон, поризация, пористость

Введение. Строительство – крупный потребитель материалов, топлива и электроэнергии, невосполнимо истощающий природные ресурсы. По объемам использования топливно-энергетических ресурсов строительный комплекс занимает третье место среди других отраслей экономики Казахстана. Истощение энергетических ресурсов, повышающиеся цены на электроэнергию требуют активного ресурсосбережения, определяют проблему энергоэффективности строительства и снижения энергопотребления как весьма актуальную [1, 2].

Природное сырье – невозобновимый ресурс, поэтому комплексное использование минеральных запасов, полнота их переработки в полезный продукт – одна из актуальных задач современного общества.

В настоящее время в производстве строительных материалов широко используют техногенные отходы. Целесообразность применения отходов продиктована двумя основными факторами: разработкой ресурсо- и энергосберегающих технологий; необходимостью улучшения экологической обстановки [3, 4].

Иссякаемые запасы сравнительно однородных по составу и свойствам традиционных материалов постепенно замещаются целым рядом новых источников техногенного сырья различного происхождения и физико-химических характеристик. Логическим продолжением разработок последних десятилетий, посвященных изучению возможности применения отходов, становится поиск рациональных технологических решений, комплексного ис-

пользования вторичного сырья. При этом комплексный подход к техногенным материалам предполагает не только совмещение в одной композиции различных видов отходов, а также многоцелевое применение нового сырья в технологиях эффективных строительных материалов [4, 5].

Снижение уровня потребления материальных и энергетических ресурсов при одновременном сохранении или повышении качества зданий и комфорта их внутренней среды – основа энергоэффективного строительства.

Ячеистый бетон – безальтернативный конструкционно-теплоизоляционный материал для строительства «теплого жилья» [6, 7]. Дороговизна портландцемента, технические сложности автоклавной обработки обуславливают необходимость использования альтернативных бесцементных вяжущих, которые по сравнению с традиционными материалами позволяют ускорить технологический процесс; улучшают поризацию бетона; характеризуются меньшей теплопроводностью; обеспечивают повышенную прочность межпоровых перегородок; не требуют высокотемпературной обработки изделий [8 – 9]. Технические достижения последних лет свидетельствуют об эффективности щелочесиликатных ячеистых бетонов на основе техногенного сырья [8 – 10].

Перспективы развития технологии эффективных изделий из ячеистого бетона необходимо связать с расширением перечня регулируемых технологических приемов воздействия на формирование ячеистой структуры бесцементных композиций. Оптимизация рецептуры

и способа приготовления сырьевых масс за счет введения новых компонентов обеспечат образование структуры с замкнутыми ячейками, повышенной прочностью межпоровых перегородок.

Поризация – определяющая стадия технологического процесса получения ячеистых материалов. Поризация зависит от важных технологических факторов: вещественный состав исходной смеси, режим вспенивания массы.

Цель работы – исследование влияния вещественного состава на поризацию бесцементных щелочесиликатных композиций, содержащих техногенный компонент.

Исследования направлены на разработку теплоизоляционных щелочесиликатных пенобетонов со средней плотностью не более 600 кг/м³.

Экспериментальная часть. Объектом исследования послужили пеномассы на основе щелочесодержащих растворов, наполненные металлургическим шлаком или стеклосилом. В экспериментах использован доменный гранулированный шлак, химический состав которого в основном представлен, %(мас.): SiO₂ 38 – 45; Al₂O₃ 8 – 12; FeO 0,5 – 0,7; CaO 23 – 29, MgO 7 – 12. Стеклобой характеризуется следующим составом, %(мас.): SiO₂ 72 – 74; Al₂O₃ 1,5 – 3,0; Fe₂O₃ 0,6 – 1,1; CaO 4 – 6, R₂O 11 – 14. Силикатная основа техногенных компонентов обеспечивает их участие в процессах формирования натриевых и кальциевых гидросиликатов. Техногенные наполнители использовали в виде порошка с удельной поверхностью 350 – 410 м²/кг

В качестве щелочесодержащих затворителей для порошков использовали водные растворы гидроксида натрия NaOH (плотность 1200 кг/м³), карбоната натрия Na₂CO₃ (плотность 1200 кг/м³); жидкое стекло Na₂O(SiO₂)_n (плотность 1250 кг/м³).

Для поризации масс использовали поверхностно-активные вещества различного происхождения: протеиновый пеноконцентрат Унипор, пенообразователи на синтетической основе Fairy и Zelle – 1. Использование пенообразователя Fairy, широкого известного моющего средства, наряду со специальными пенообразователями, обусловлено высокой эффективностью Fairy при формировании устойчивой мелкопористой пены на основе щелочных растворов. Доступность пенообразователя Fairy позволяет рассматривать его как возможный компонент щелочесиликатных пенобетонных смесей.

Пеномассы готовили по одностадийному методу: суспензию, полученную перемешива-

нием всех компонентов, вспенивали в смесителе миксерного типа. Соотношение между жидкой и твердой составляющими принято от 1: 1,5 до 1: 2,5 и оптимизировано в процессе эксперимента. Концентрация пенообразователя составляла 2 – 4%. Сухие компоненты массы тщательно перемешивали, затем всыпали в раствор, после чего смесь подвергалась вспениванию с помощью мешалки миксерного типа в течение 2 мин. Скорость вращения перемешивающего механизма 600 об/мин. Свойства пеномасс оценивали по кратности и плотности. Кратность – отношение объема пеномассы к объему исходной суспензии. Образцы пенобетона размером 40х40х40 мм твердели в нормальных условиях.

Для сравнения полученных пен использована визуальная оценка крупности, однородности и устойчивости во времени. Мелкими обозначены пены с размером ячеек 0,5 мм, крупными – более 1 мм. Однородная пористая структура характеризуется равномерным распределением пор в объеме массы, отсутствием крупных воздушных полостей. Устойчивость пеномассы оценивали по продолжительности сохранения ею первоначального объема: высокая устойчивость – не менее 30 мин; низкая – разрушается почти сразу после приготовления в смесителе.

Изучение структуры образцов выполнено с помощью документ-камеры AVerVision 530. Суммарное увеличение изображения x96. Структуру образцов фиксировали также с помощью цифрового фотоаппарата SONY с разрешением 10 мрх.

Для получения щелочесиликатных вяжущих и композиций используют щелочные затворители, состав которых влияет на скорость и показатели твердения вяжущего. Исследованы пены, образованные на основе водных растворов гидроксида натрия NaOH (плотность 1200 кг/м³), карбоната натрия Na₂CO₃ (плотность 1200 кг/м³) и жидкого стекла (плотность 1250 кг/м³). Пенообразователи добавляли в количестве 2%.

Обсуждение результатов. Результаты приведены в таблице 1. Раствор гидроксида натрия плотность 1200 кг/м³ не вспенивался, поэтому использовали его сочетание с водой в равных соотношениях. Анализ полученных результатов выявил существенную зависимость вспенивания и пористой структуры масс от состава раствора.

Использование протеинового пенообразователя Унипор для всех исследуемых щелочных растворов не обеспечивает для пены требуемой структуры и устойчивости.

Пена из раствора карбоната натрия и Унипора разрушается почти мгновенно после выключения смесителя. Состояние пен на основе синтетического пенообразователя Fairy неоднозначно: мелкая структура и высокая устойчивость пены – из жидкого стекла; крупнопористая легко разрушаемая пена – на основе раствора NaOH.

Характер вспенивания комбинированных растворов с использованием протеинового пенообразователя Унипор аналогичен поведению исходных растворов (таблица 2). Испытания комбинированных растворов подтвердили целесообразность применения синтетических пе-

нообразователей.

Прочностные показатели шлакощелочного вяжущего, затворенного растворами различного состава, располагаются в порядке возрастания $\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$

Исследования показали предпочтительность затворения комбинированным раствором $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ и NaOH, который обеспечивает ускорение твердения и повышение прочности вяжущего.

При добавлении гидроксида натрия в жидкое стекло прослеживается тенденция уменьшения вспениваемости массы: снижение кратности и рост плотности пены (таблица 3).

Таблица 1 – Влияние состава щелочесодержащего раствора на свойства пены

Состав раствора	Вид пенообразователя	Кратность пены	Плотность пены, кг/м ³	Качественная характеристика пены		
				размер пор	однородность пористости	устойчивость
NaOH : вода (1:1)	Fairy	1,6	690	крупные	неоднородная	низкая
	Zelle – 1	8,5	130	мелкие	однородная	высокая
	Унипор	7,5	150	средние	неоднородная	средняя
Na ₂ CO ₃	6	2,0	590	крупные	неоднородная	средняя
	Zelle – 1	8,0	150	очень мелкие	однородная	высокая
	Унипор	2,5	480	мелкие	неоднородная	низкая
Na ₂ O (SiO ₂) _n	Fairy	7,0	180	очень мелкие	однородная	высокая
	Zelle – 1	6,5	190	мелкие	однородная	высокая
	Унипор	6,5	190	средние	неоднородная	средняя

Таблица 2 – Свойства пены на основе комбинированных щелочесодержащих растворов

Состав раствора	Вид пенообразователя	Кратность пены	Плотность пены, кг/м ³	Качественная характеристика пены		
				размер пор	однородность пористости	устойчивость
Na ₂ O(SiO ₂) _n : NaOH (1:1)	Fairy	7,0	170	мелкие	однородная	высокая
	Zelle – 1	9,0	130	мелкие	однородная	высокая
	Унипор	7,0	170	средние	неоднородная	низкая
Na ₂ O(SiO ₂) _n : Na ₂ CO ₃ (1:1)	Fairy	6,5	190	мелкие	однородная	высокая
	Zelle – 1	8,0	150	мелкие	однородная	высокая
	Унипор	2,5	480	крупные	неоднородная	низкая

Таблица 3 – Влияние концентрации добавки гидроксида натрия на свойства пены из жидкого стекла

Концентрация добавки NaOH, %	Кратность пены		Плотность пены, кг/м ³	
	Fairy	Zelle – 1	Fairy	Zelle – 1
0	6,5	7,5	190	172
10	7,2	7,3	171	170
20	6,3	7,1	192	179
30	5,4	6,9	230	182

При необходимости получения пены повышенной кратности концентрацию гидроксида натрия нецелесообразно увеличивать выше 20%.

Щелочесиликатные композиции состоят из жидкого стекла и порошкообразного наполнителя (металлургического шлака или боя стекла), который влияет на реологические свойства и вспениваемость массы. Для вспенивания щелочесиликатной композиции использован пенообразователь Fairy (концентрация в растворе 4%), в качестве затворителя – комплексный щелочной раствор с 20% гидроксида натрия (для шлака) и раствор жидкого стекла (для стеклобоя). Увеличение доли наполнителя закономерно повышает плотность за счет уменьшения пористости материала (таблицы 4 и 5).

Соотношение «жидкое стекло : наполнитель» в пеномассе целесообразно принять равным 1:1,85 для шлакового бетона и 1:2,00 для бетона на основе стеклобоя. Указанные соотношения компонентов обеспечивают значительную долю техногенной составляющей при повышенной стойкости формовочной смеси к седиментации, наибольшем значении кратности пеномассы, невысоких значениях средней плотности бетона с равномерным расположением ячеек.

Таблица 4 – Влияние доли шлакового наполнителя на свойства поризованного материала

Жидкое стекло:шлак	Кратность пены	Плотность пены, кг/м ³	Плотность пенобетона, кг/м ³	Прочность при сжатии пенобетона, МПа
1: 1,25	6,4	430	258	0,3
1: 1,45	6,3	462	318	0,4
1: 1,85	6,1	475	348	0,5
1: 2,00	5,8	544	461	0,7

Таблица 5 – Влияние доли стекольного наполнителя на свойства поризованного материала

Жидкое стекло:стеклобой	Кратность пены	Плотность пены, кг/м ³	Плотность пенобетона, кг/м ³	Прочность при сжатии пенобетона, МПа
1: 1,6	4,5	570	404	0,8
1: 1,7	4,8	620	420	1,0
1: 1,8	5,0	640	430	1,1
1: 1,9	5,1	660	470	1,2
1: 2,0	5,2	670	480	1,2

Исследования влияния концентрации гидроксида натрия в составе шлакощелочной композиции с соотношением «жидкое стекло : шлак» равным 1:1,75 позволяют уточнить допустимое содержание гидроксида натрия, бес-

печивающее необходимые темпы твердения при сохранении высокой вспениваемости массы (таблица 6).

Таблица 6 – Влияние концентрации добавки гидроксида натрия на свойства пенобетона

Концентрация добавки NaOH, %	Кратность пены	Плотность пены, кг/м ³	Плотность пенобетона, кг/м ³	Прочность при сжатии пенобетона, МПа
10	6,5	456	307	0,3
20	6,3	475	348	0,5
20 (Zelle – 1)	6,7	457	304	0,4
30	5,4	459	402	0,6
40	5,0	602	456	0,7
50	4,7	648	504	0,8

Оптимальная добавка раствора гидроксида натрия - 10 – 30% с учетом особенностей состава шлако-щелочной композиции. Повышение доли NaOH в составе композиции сопровождается все более значительным снижением пористости пенобетона.

Структура пенобетона чувствительна к вещественному составу формовочной массы. Использование пенообразователя Zelle-1 при прочих равных условиях приготовления пеномассы обеспечивает формирование укрупненных ячеек со средним размером 0,8 – 1,0 мм (рисунок 1).

Пенобетон на основе металлургического шлака характеризуется меньшими в 1,5–2,0 раза ячейками по сравнению с бетоном на основе стеклобоя, которые в поперечном сечении достигают 1,5–2,0 мм (рисунок 2).

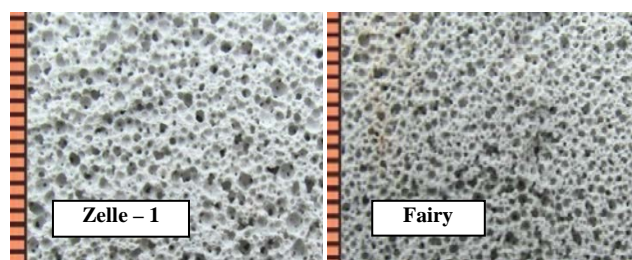


Рисунок 1 – Структура пенобетона с использованием различных пенообразователей

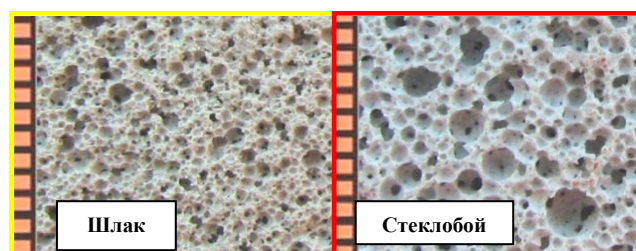


Рисунок 2 – Структура пенобетона с использованием различных наполнителей

Выводы. Силикатные техногенные материалы – эффективное сырье для получения бесцементных вяжущих и композиций на их основе. Результаты исследований поризации щелочесиликатных композиций свидетельствуют о преимущественном влиянии на формирование ячеистой структуры вида пенообразователя, состава и количества щелочного затворителя. Использование в качестве затворителя – основы рабочего раствора жидкостей с выраженной химической активностью и регулируемой плотностью предопределяет выбор порообразователей с высокой вспенивающей способностью и устойчивостью в среде затворителя.

Вид техногенного наполнителя определяет реологические свойства формовочной массы и прочность пенобетона, оказывает влияние на размер формирующихся ячеек пористого материала.

Расширение возможности для оптимизации реологических свойств формовочных смесей обеспечивает условия для формирования устойчивой пеномассы с замкнутой мелкой и равномерно распределенной пористостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010 – 2014 годы. – Астана: 19 марта 2010 года.
2. Вернеке Д. Энергоэффективное строительство – это мировая тенденция //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2008. – №10. – С. 41 – 42.
3. Каренов Р.С. Минерально-сырьевой комплекс Казахстана в условиях рыночной экономики. – Алматы: РИО ВАК РК, 2000. – 296 с.
4. Мирюк О.А. Ресурсосбережение в технологии строительных материалов: Учебное пособие. – Рудный: РИИ, 2011. – 258 с.
5. Мирюк О.А., Ахметов И.С. Вяжущие вещества из техногенного сырья. – Рудный: Рудненский индустриальный институт, 2002. – 250 с.
6. Мусабаева А.А. Строительство Казахстана на подъеме //Строительные материалы, оборудование,

технологии XXI века. – 2006. – № 5. – С. 8 – 12.

7. Франивский А., Дутчак А. Ячеистый бетон в строительстве //Строительство и реконструкция. – 2001. – № 12. – С. 11–15.

8. Ахметов Д.А., Ахметов А.Р., Бисенов К.А. Ячеистые бетоны (газобетон и пенобетон). – Алматы: Ғылым, 2008. – 384 с.

9. Ханов Н.С. О некоторых проблемах производства и использования пенобетона //Строительные материалы. – 2008. – №6. – С. 31 – 32.

10. Карнаухова Ю.П., Белых С.А., Лебедева Т.А., Кудяков А.И. Особенности получения поризованных материалов для ограждающих конструкций из вспененного наполненного жидкого стекла //Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 2. – С. 59 – 63.

REFERENCES

1. Gosudarstvennaya programma po forsirovannomu industrial'no-innovatsionnomu razvitiyu Respubliki Kazakhstan na 2010 – 2014 gody, Astana, **19.03.2010** (in Russ.).
2. Verneke D. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka, **2008**, 10, 41 – 42 (in Russ.).
3. Karenov R.S. Mineral'no-syr'evoy kompleks Kazakhstana v usloviyakh rynochnoy ehkonomiki. Alma-ty: RIO VAK RK, **2000**, 296 (in Russ.).
4. Miryuk O.A. Resursosberezhenie v tekhnologii stroitel'nykh materialov. Uchebnoe posobie. Rudnyj. RII, **2011**, 258 (in Russ.).
5. Miryuk O.A., Akhmetov I.S. Vyazhushchie veshchestva iz tehnogennoho syr'ya. Rudnyj: Rudnenskiy industrial'nyy institut, **2002**, 250. (in Russ.).
6. Musabaeva A.A. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka, **2006**, 5, 8 – 12 (in Russ.).
7. Franivskij A., Dutchak A. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya, **2001**, 12, 11–15 (in Russ.).
8. Akhmetov D.A., Akhmetov A.R., Bisenov K.A. Yacheistye betony (gazobeton i penobeton). Alma-ty: Gylym, **2008**, 384. (in Russ.).
9. Khanov N.S. Stroitel'nye materialy, **2008**, 6, 31 – 32. (in Russ.).
10. Karnaukhov Ju.P., Belykh S. A., Lebedeva T.A., Kudyakov A.I. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo, **2003**, 2, 59 – 63 (in Russ.).

Түйіндеме

Мақала құрылыс индустриясының шикізат базасының проблемасына арналған. Саңылаулы құрылым бетоны зерттелуінің нәтижелері келтірілген. Металлургиялық шлак пен техногенді шыны негізінде тұтқыр заттан көбік бетонды алу мүмкіндігі сыналанып дәлелденген. Ерітінді ретінде сұйық шыны қолданылған. Бетондың қоспалар шикізаттық компоненттерден тұратын суспензияның көбіктенуі тәсілімен дайындалынған. Көбіктің пайда болуына ерітінді құрамының әсері белгіленген. Шикізаттық массаның сұйық және қатты компоненттері арасында рационалды қатынас орнатылған. Саңылаулы материалдар құрылымына әр түрлі технологиялық факторлардың әсері зерттелінген. Саңылаулау зерттеуінің нәтижесі қуыстық еріткіш құрамы мен көбік жасағыш түрінің тетіктік құрылымдалуына жетістікті әсер етуі жөнінде дәлелдейді. Синтетикалық түрлендіргішті таңдау анықталған. Техногенді материалдардан алынған көбік бетон беріктігі мен орташа тығыздығы келтірілген.

Түйін сөздер: шыныны соғу, металлургиялық шлак, көбік бетон, саңылау

Summary

Article covers the problem of building industry raw-materials base expansion. The results of studies of the concretes with porous structure are given. The possibility of foamed concrete obtaining from binding on the base of metallurgical slag and cullet is experimentally confirmed. The liquid glass was used as a mixing. Concrete mixes were prepared by the method of foaming of slurry consisting of all raw materials. The influence of the composition of the solutions on the formation of foam is determined. The efficient ratios between the solid and liquid components of the raw material supply are established. The effect of various technological factors on the structure of porous materials is investigated. The results of porization research indicate primary influence of the foam former type, composition and quantity of alkaline mixing on forming of cellular structure. The preference of synthetic foaming agents is detected. Characteristics of the average density and strength of foam concretes, obtained from production waste materials, are presented.

Keywords: cullet, metallurgy slag, foam concrete, porization, porosity

Поступила 05. 07. 2013.