



УДК 666.973.6

**Н.М. Красникова** – доцент

**В.Г. Хозин** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## НОВЫЙ СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПЕНОБЕТОНА

### АННОТАЦИЯ

Описывается новый способ приготовления пенобетона, включающий предварительную комплексную механоактивацию смеси, состоящую: из портландцемента, жидкого концентрата пенообразователя и водопонижающего реагента, с последующим затворением сухой смеси водой и смешением в скоростном смесителе.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Технология, сухая механоактивированная смесь, неавтоклавный пенобетон, прочность.

**N.M. Krasnikova** – associate professor

**V.G. Khozin** – doctor of technical sciences, professor, head of Technologies of the Building Materials, Product and Designs department

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## A NEW METHOD OF A FOAMED CONCRETE PREPARATION

### ABSTRACT

A new method of a foamed concrete preparation is described. It includes the preliminary complex foamactivation of mixture consisting of portland cement, liquid concentrate of foam-producing agent, and water-reducing reagent followed by compositing in a speed mixer.

**KEYWORDS:** Technology, mechanically activated mixture, non-autoclave foamed concrete, hardness, contraction.

В связи с интенсивным развитием отечественного строительного комплекса, направленным на реализацию федеральных программ «Жилище», «Энергосбережение», Национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России», и планами увеличения к 2010 году в 2 раза темпов жилищного строительства резко возросла потребность в эффективных утеплителях, которые отвечают требованиям СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». Нормативы по теплозащите зданий приближают термическое сопротивление ограждающих конструкций зданий в РФ к нормам Евросоюза (EnEV-2000) [2]. Актуальной стала проблема разработки и использования эффективных теплоизоляционных материалов (ТИМ), отвечающих современным установленным требованиям качества. Реализация национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» наталкивается на ряд тормозящих факторов, в том числе на дефицит качественных строительных материалов и конструкций [1]. Упомянутым проектом предусматривается доведение ежегодных объемов жилищного строительства к 2010 г. до 80 млн. м<sup>2</sup>. Учитывая, что в 2004 г. было построено около 41 млн м<sup>2</sup>, в 2005 г. – 43,6, а в 2006 г. – 50,2 млн м<sup>2</sup>,

2007 г. – 75,9 млн м<sup>2</sup>, 2008 г. – 81,8 млн м<sup>2</sup> [5], становится совершенно очевидным, что выполнение такой программы потребует изготовления огромного объема ограждающих конструкций, в том числе для стен и крыш жилых зданий. Среди наиболее эффективных для этих целей материалов, специалисты, как отечественные, так и зарубежные, выделяют ячеистые бетоны.

Варианты технологических схем приготовления пенобетонной смеси, получивших широкое применение в нашей стране, следующие:

- классический (двухстадийный), при котором отдельно готовят водную пену и водное цементное тесто (или цементно-песчаный раствор), а затем их смешивают в механическом смесителе;
- метод сухой минерализации пены [3];
- метод баротехнологии [4].

Анализ данных технологий производства пенобетона свидетельствует о том, что каждая из них имеет свои достоинства и недостатки, отражающиеся на технических свойствах получаемого пенобетона и его себестоимости. В таблице 1 отражены основные «плюсы и минусы» этих технологий.



Таблица 1

## Основные различия в технологиях приготовления пенобетона

Способ получения	Достоинства технологии	Недостатки и их причина
Традиционный метод	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Наиболее отработанный и надежный;</li> <li>2) Параметры пенобетона регулируются соотношением между пеной и раствором в составе пеномассы.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) В процессе перемешивания частично происходит разрушение структуры пеномассы. Это зависит от: <ul style="list-style-type: none"> <li>- длительности перемешивания – при долгом перемешивании можно разрушить всю пену и не получить поризованной пеномассы;</li> <li>- скорости перемешивания;</li> <li>- характера циркуляции смешиваемой пеномассы в смесителе и формы смесительных лопаток;</li> <li>- тиксотропных характеристик смеси: подвижности, вязкости, пластической прочности и т.д.;</li> <li>- от стойкости исходной пены (зависит от типа пеногенератора).</li> </ul> </li> </ol>
Метод «сухой минерализации»	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Такой метод пригоден для непрерывной технологии производства пенобетона;</li> <li>2) Образуется устойчивая пенобетонная смесь с малым количеством свободной воды;</li> <li>3) Управлять эксплуатационными характеристиками пенобетона можно за счет изменения кратности пены.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Необходимо точное и равноскоростное дозирование сухих компонентов и их равномерное распределение в поризуемой смеси без ее разрушения.</li> </ol>
Баротехнология	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Отсутствует такой сложный технологический передел, как пеногенерация и, соответственно, пеногенератор;</li> <li>2) Возможность получения сверхлегкого пенобетона (менее 300 кг/м<sup>3</sup>);</li> <li>3) Обжатие пены и пеносмеси вызывает искусственное снижение их кратности;</li> <li>4) С повышением степени обжатия улучшаются технологические свойства смеси – при повышении давления пузырьки сжимаются пропорционально величине избыточного давления. В сжатом состоянии пузырьки упрочняются. Сырьевая смесь по выходу из растворопровода «расширяется» из-за перепада давления;</li> <li>5) Возможность транспортирования на большие расстояния и по горизонтали, и по вертикали.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Многофакторная взаимосвязь параметров процесса;</li> <li>2) Необходимость жесткого соблюдения последовательности загрузки компонентов в смеситель, продолжительности и интенсивности перемешивания.</li> </ol>



Все перечисленные технологии отличаются нестабильностью получаемой ячеистой структуры и поэтому – свойств материала, поскольку пенобетонная смесь чрезвычайно чувствительна к минералогическому и вещественному составу вяжущего и наполнителей, с одной стороны, и добавок – с другой. Другим недостатком является повышенная влажность пенобетона, ввиду высоких значений исходного В/Т, и вследствие этого усадка при длительном твердении (в основном влажностная).

Мониторинг качества, проводимый Службой государственного строительного надзора и экспертизы по г. Санкт-Петербургу (ведущий регион по производству пенобетона), выявил следующие технологические причины брака (разброс показателей по плотности, прочности и несоответствие НТД, большая усадка пенобетонных изделий) [6]:

- нестабильность производственной технологии (не оптимальна или не налажена, некоторые необходимые технологические операции не проводятся);
- работниками предприятий не соблюдаются правила выполнения технологических операций;
- качество применяемых материалов имеет недопустимые отклонения;
- не осуществляется адекватная корректировка составов пенобетона при изменении качества материалов.

Обобщая технические недостатки производства пенобетона, можно сделать следующий вывод: для получения пенобетона стабильного качества необходим комплекс технологических мероприятий, которые позволят получить пенобетон с высокой прочностью, меньшей теплопроводностью, повышенной морозостойкостью и малой усадкой.

Решение поставленной задачи авторы видят в идеологии современного производства строительных материалов и работ с помощью сухих смесей. Неоспоримым преимуществом изготовления и применения сухих смесей является высокая точность дозирования, степень гомогенизации их компонентов и, следовательно, стабильность технологических и эксплуатационно-технических свойств строительного материала. Необходимо отметить, что все исходные компоненты смеси в этом случае должны быть сухими, а для производства же пенобетона в основном применяются концентрированные водные растворы пенообразователей.

Нами разработана технология изготовления механоактивированных сухих смесей для получения неавтоклавного пенобетона, лишённого присущих ему недостатков и близкого по свойствам к автоклавному газобетону. Технология и ее аппаратное оформление достаточно просты, мало энерго- и металлоёмки. *Состав сухих смесей включает все известные компоненты, в том числе жидкие пенообразователи, переходящие в процессе получения СС в сухое*

*состояние* (патент РФ № 2342347, дата приоритета от 18.01.2007).

Способ заключается в совместной механоактивации составляющих сухой смеси (портландцемента, концентрированного раствора пенообразователя и водопонижающего реагента), что созвучно с технологией производства цементов низкой водопотребности (ЦНВ). Важно отметить, что количество воды, сорбируемой сухой смесью из пенообразователя, составляет 1,3 % от общей массы смеси и не превышает 3 %, допустимых при приготовлении ЦНВ [8]. Одним из путей улучшения свойств пенобетона, приготовляемого по традиционным схемам, также является предварительная механическая активация цемента, без изменения принятой технологии приготовления пенобетона [7, 9]. Технология производства неавтоклавного пенобетона традиционным методом с использованием цемента низкой водопотребности была изучена Б.Э. Юдовичем [10], авторы, кроме положительной стороны этого метода – значительного повышения прочностных показателей и морозостойкости, также указывают на необходимость частой чистки смесителей от «наростов» пенобетона, что снижает производительность и качество пенобетонной смеси.

В данной работе в качестве исходных материалов использованы промышленно выпускаемые химические продукты и материалы: синтетические пенообразователи на основе нефтяных сульфокислот ПБ-2000 (ТУ 2481-185-05744685) и ПО-6ЦТ (ТУ 0258-148-05744685-95) производства «Ивхимпром», белковый пенообразователь «Адидент» производства Германии, портландцемент ПЦ 500 Д0-Н Вольского цементного завода ( $C_3A = 4,6\%$ ), водопонижающий реагент – порошкообразный суперпластификатор С-3.

Для оптимизации технологии неавтоклавного пенобетона из сухой механоактивированной смеси было изучено:

- влияние пенообразователей на сроки схватывания цементного теста (метод оценки по ГОСТ 310.1-310.2). На основании этого были выбраны пенообразователи синтетический ПБ -2000 и белковый «Адидент» с наименьшими сроками схватывания цементного теста и максимальным водоредуцирующим эффектом, дальнейшее применение которых позволит снизить тормозящее действие пенообразователей на структурообразование цементного камня, обусловленное блокированием активных центров цементных зерен молекулами ПАВ;
- влияние химических добавок на свойства пены различной природы;
- размолоспособность портландцемента с водопонижающим реагентом в трех видах лабораторных мельниц, отличающихся способом измельчения: шаровой с истирающим и ударно-гравитационным измельчением, вибрационно-

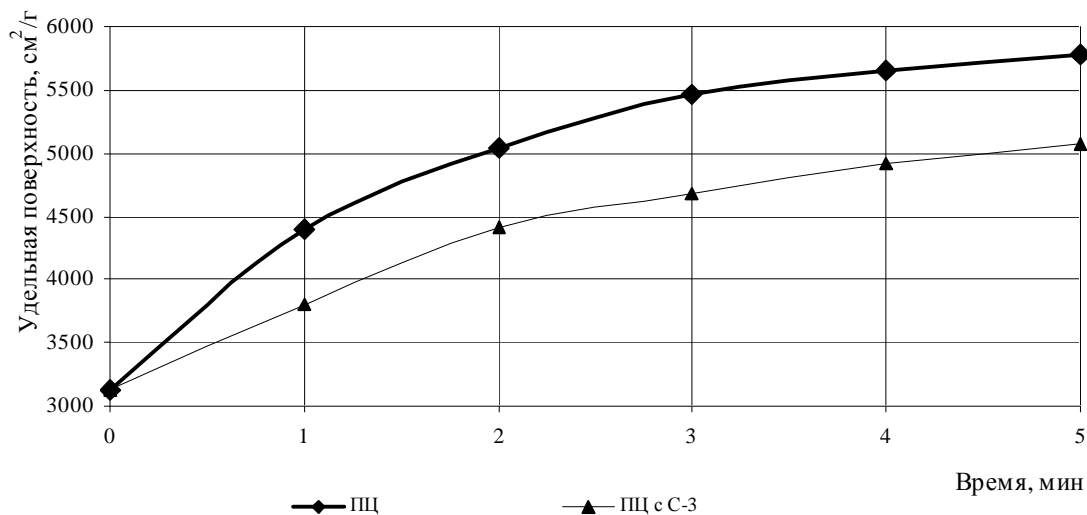


Рис. 1. Размолоспособность портландцемента с суперпластификатором С-3 в пружинной мельнице

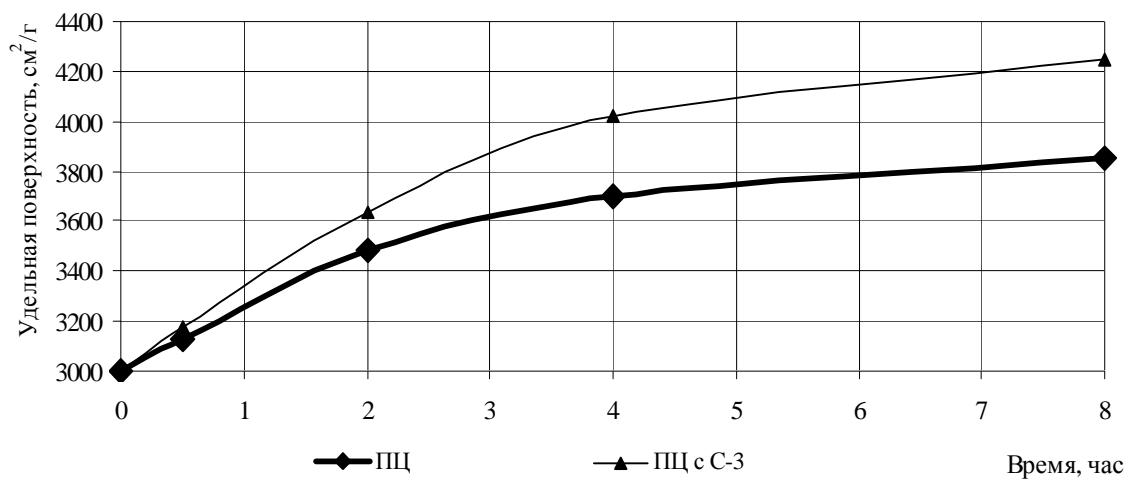


Рис. 2. Размолоспособность портландцемента с суперпластификатором С-3 в шаровой мельнице

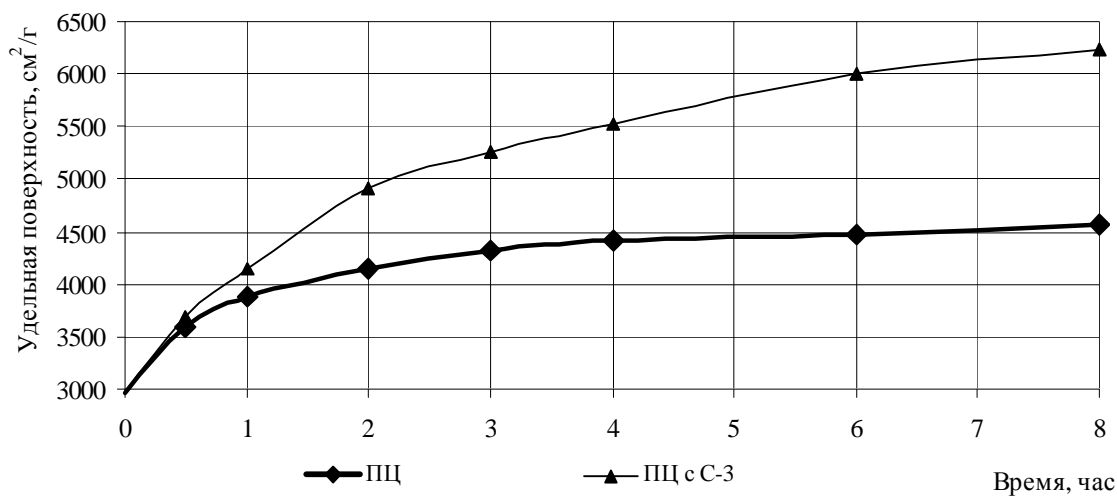


Рис. 3. Размолоспособность портландцемента с суперпластификатором С-3 в вибрационно – шаровой мельнице

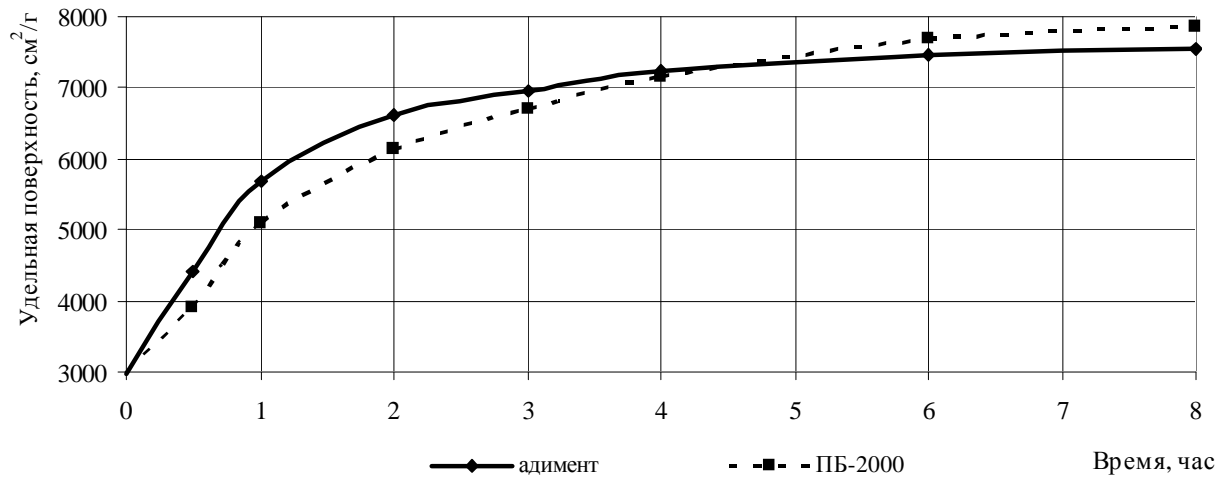


Рис. 4. Размолоспособность портландцемента с пенообразователями в вибрационно-шаровой мельнице

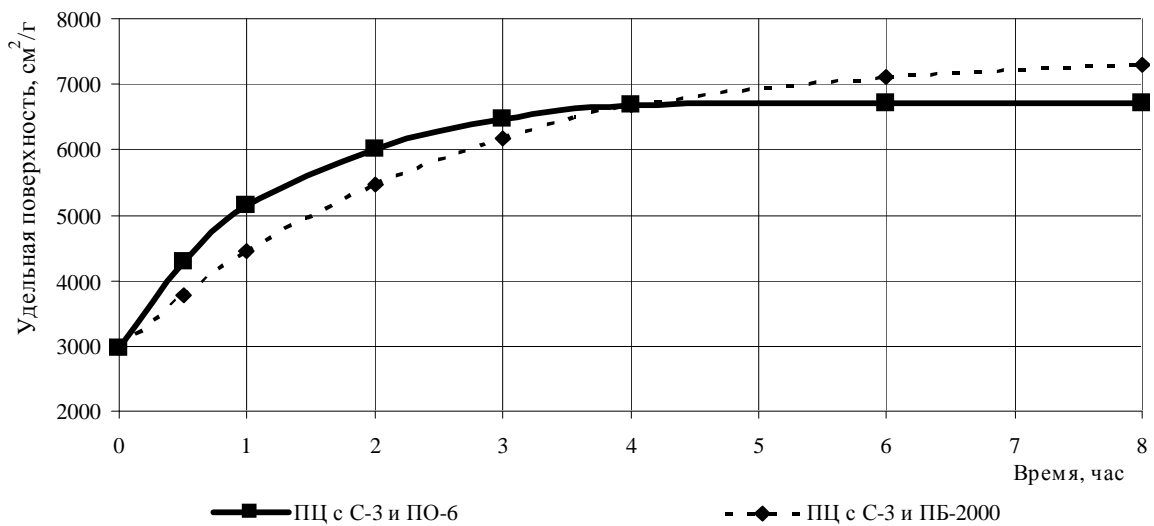


Рис.5. Размолоспособность портландцемента с суперпластификатором и пенообразователями в вибрационно-шаровой мельнице



Рис. 6. Поровая структура пенобетона D 400, полученного из сухой смеси



шаровой с истирающим и ударно-вибрационным измельчением, пружинной с истирающим и раскалывающе-сдавливающим измельчением. Критерием размолоспособности явились степень измельчения портландцемента с водопонижающим реагентом и обеспечение высокой удельной поверхности, которая определяет активность портландцемента при твердении.

Как видно из графиков размолоспособности (рис. 1-3), измельчение портландцемента в присутствии С-3 в вибрационно-шаровой и шаровой мельницах значительно усиливается (за 8 часов в 1,37 и 1,1 раза, соответственно), в отличие от измельчения в пружинной мельнице, где несмотря на быструю размолоспособность, наблюдается обратная зависимость (за 5 мин уменьшилась в 1,14 раза). Из сравнения интенсивности размолоспособности портландцемента с С-3 в шаровой ( $S_{уд} = 4250 \text{ см}^2/\text{г}$ ) и вибрационно-шаровой мельницах ( $S_{уд} = 6230 \text{ см}^2/\text{г}$ ) видно, что наибольшая удельная поверхность достигается для последней. Поэтому для оценки влияния пенообразователя на размолоспособность портландцемента с суперпластификатором С-3 и без него далее использовали вибрационно-шаровую мельницу. Результаты приведены на рис. 4 и 5.

Из рис. 4 видно, что с добавлением пенообразователя (Адидент или ПБ-2000) размолоспособность портландцемента существенно усиливается. Такая же удельная поверхность, как и у портландцемента с С-3 ( $S_{уд} = 6230 \text{ см}^2/\text{г}$ ), обеспечивается при добавлении к портландцементу пенообразователя

Адидент или ПБ-2000 за более короткий промежуток времени (соответственно, за 2 и 2,5 часа).

Из рис. 5 видно, что с добавлением С-3 к портландцементу с пенообразователем (Адидент или ПБ-2000) размолоспособность несколько снижается: для портландцемента с Адидент – на 11 %, а с ПБ-2000 – на 7 %.

Поровая структура полученного пенобетона из сухой смеси, состоящей из портландцемента, пенообразователя ПБ-2000 и водопонижающего реагента, приведена на рисунке 6.

Свойства пенобетона из сухой смеси представлены в таблице 2.

#### Выводы:

1. Предложенный новый способ приготовления пенобетона позволяет избежать недостатки, присущие пенобетонам, изготовленным по традиционным схемам производства, а именно нестабильность показателей основных технических свойств.

2. Полученный пенобетон плотностью D400 из сухой смеси по своим прочностным характеристикам близок к газобетонам.

3. Полученный пенобетон плотностью D400 из сухой смеси имеет усадку менее 3 мм/м, что значительно меньше, чем у пенобетонов по другим технологиям.

Авторы выражают благодарность старшему преподавателю кафедры ТСМиК Хохлакову О.В. за помощь в проведении исследования размолоспособности.

Таблица 2

Свойства пенобетонов различной технологии приготовления

Технология	Свойства пенобетона				
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Морозостойкость, цикл	Теплопроводность, Вт/м*К	ККК
Из сухой механо-активированной смеси	440	1,76	35	0,08	0,4
Классическая <sup>1</sup>	400	1,24	35	0,09	0,31
Метод сухой минерализации <sup>2</sup>	360	0,76	не приведена	0,09	0,21
Баротехнология <sup>3</sup>	400	1,2	25	0,1	0,3
Газобетон автоклавный <sup>4</sup>	400	2,0	25	0,095	0,5

<sup>1</sup> – данные РУП «Волковысский завод КСОМ» (г. Волковыск, Беларусь); <sup>2</sup> – из автореферата Аникановой Т.В. Теплоизоляционные пенобетоны с ускоренным схватыванием (г. Белгород); <sup>3</sup> – данные ООО «Строй-Бетон» (г. Санкт-Петербург); <sup>4</sup> – данные ОАО «ЗЯБ» (г. Набережные Челны).



### Литература

1. Трамбовецкий В.П. Ячеистый бетон в современном строительстве // Технология бетонов, 2007, № 2. – С. 30-33.
2. Матросов Ю.А. Законодательство и стандартизация Европейского Союза по энергоэффективности зданий // [www.abok.ru](http://www.abok.ru). – С. 1-4.
3. Меркин А.П. Научные и практические основы улучшения структуры и свойств поризованных бетонов // Автореф. докт. дисс. – М., 1972. – 44 с.
4. Ружинский С., Портник А., Савиных А. Все о пенобетоне. – СПб.: ООО «Стройбетон», 2006. – 630 с.
5. Николаев И. Директор департамента стратегического анализа ФБК: темпы жилищного строительства // [www.rosfincom.ru](http://www.rosfincom.ru).
6. Коноплев С.Н. Некоторые вопросы качества пенобетона // Популярное бетоноведение, № 2006, № 2.
7. Черных В.Т. Активация сырьевых смесей дает хороший результат при производстве неавтоклавного пенобетона // Ячеистые бетоны в строительстве. – СПб.: ООО «Строй- Бетон», 2008. – С. 283-286.
8. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
9. Черных В.Т., Удодов С.А., Шестакова Е.В. Проблемы производства и эксплуатации неавтоклавного пенобетона // Ячеистые бетоны в строительстве. – СПб.: ООО «Строй- Бетон», 2008. – С. 198-203.
10. Юдович Б.Э., Зубехин С.А. Субмикроструктурный пенобетон: новое в основах технологии // Цемент и его применение, 2009, №1. – С. 81-85.