

## Конструкционно-теплоизоляционный пенобетон, модифицированный волокнистым наполнителем

*Ю.Г. Иващенко, Д.Ю. Багапова, А.В. Страхов*

*ФГБОУВО «Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов*

**Аннотация:** В статье рассмотрена актуальность разработки цементного пенобетона отвечающего современным требованиям по энергосбережению и энергоэффективности. Рассмотрена взаимосвязь физико-механических свойств цементного пенобетона с особенностями формирования его структуры на макро- и микроуровне. Описаны основные компоненты для изготовления конструкционно-теплоизоляционного цементного пенобетона. Приведены результаты экспериментов по установлению зависимости параметров структуры пенобетонной смеси, формирующих физико-механические свойства готовых изделий. Установлен механизм активного участия частиц волокнистого целлюлозного наполнителя в организации структуры пенобетонной смеси и образцов на ее основе. Подтверждена оптимальная концентрация волокнистого целлюлозного наполнителя в составе сырьевой смеси.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергоэффективность, конструкционно-теплоизоляционный пенобетон, модифицирующие добавки, технический углерод, волокнистый наполнитель.

Строительный комплекс, жилищно-коммунальное хозяйство в России по удельным показателям потребления электрической и тепловой энергии занимают «лидирующее» положение. Производство строительных материалов и изделий по статьям расходов топливно-энергетических ресурсов и материалоемкости производства находится на втором месте после черной металлургии. Решение комплекса задач по энергосбережению в соответствие с требованиями Федерального Закона №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009г. и Стратегией развития промышленности строительных материалов и индустриального домостроения на период до 2020 года, как и в других секторах хозяйственной деятельности, должны

---

состоять в заинтересованном повышении эффективности энерго- и теплопотребляемых объектов ЖКХ за счёт использования эффективных теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов, отвечающих современным требованиям/

К таким энергоэффективным материалам можно отнести пенобетон. Изделия из него хорошо адаптированы к сложным климатическим и экономическим условиям России и имеют ряд важных достоинств [1]. Несмотря на доступность технологии производства неавтоклавного цементного пенобетона, формирование его структуры на различных уровнях трудно поддается управлению, что обусловлено рядом технологических факторов. При этом вероятность появления дефектов в виде деформации и объединения пор, образование микротрещин в целом напрямую зависит от протекания процессов структурообразования [2].

Управление структурообразованием строительных композиционных материалов должно осуществляться в соответствии с концептуально-методологической парадигмой современного системно-структурного материаловедения с кодом «4С». Данный подход заключается в том, что средством управления составом, структурой, состоянием и свойствами получаемой продукции принимается управление технологическими процессами структурообразования, а также воздействие факторов эксплуатационной среды на материал, работающий в строительной конструкции, анализируется через изменение его состава, структуры и состояния, через последствия этого для свойств, качества материала. [3]

Для получения качественных изделий на основе пенобетона, отвечающих современным требованиям существует необходимость оптимизировать режим формирования отдельных структур в системе рассматриваемой ее на двух уровнях: микроструктуры, присущей

---

цементному тесту и цементному камню, и макроструктуры, характерной для пенобетонной смеси.

Макроструктура конструкционно-теплоизоляционного пенобетона формируется при совмещении минерального вяжущего, воды, наполнителей, дисперсных армирующих элементов — волокон, пластификаторов и модифицирующих химических добавок. Цементная матрица (микроструктура) на начальном этапе представляет бинарную дисперсную систему, где роль дисперсионной среды выполняют вода и водные растворы компонентов вяжущего. Свойства микроструктуры в значительной мере определяются явлениями, протекающими в контакте жидкой и твердой фаз, т.е. зависят от количественного соотношения цемента, наполнителей и воды, дисперсности и физико-химической активности наполнителей. [4,5]

В целях повышения прочности пенобетонных изделий с уменьшением их плотности и теплопроводности использовался волокнистый целлюлозный наполнитель с размером волокон в пределах 10-40 мкм. [6]

В результате проведенных исследований, по способу введения волокнистого целлюлозного наполнителя в пенобетонную смесь, при использовании способа сухой минерализации наблюдалась неравномерная структура модифицированного пенобетона, повышение средней плотности пенобетонного массива, снижение прочностных характеристик. Данный дефект объясняется разрушением пены при быстром истечении жидкости через каналы Плато.

Исходя из вышесказанного, для производства эффективного конструкционно-теплоизоляционного пенобетона, было принято решение использовать способ мокрой минерализации. Данный способ предусматривает отдельное приготовление пены и цементного раствора, содержащего волокнистый наполнитель, и дальнейшего соединения их друг с другом.

---

Основными компонентами состава пенобетонной смеси использованы исходные материалы: портландцемент марки ЦЕМ I 32,5Н ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия» производства ОАО «Холсим (Рус)» (Россия); песок Песчанковского месторождения строительных песков, отвечающий требованиям ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия», белковый пенообразователь «GreenFroth P» производства фирмы «Laston» SPA, соответствующий требованиями ASTM C869 / C869M - 11(2016) (Италия); вода водопроводная по ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия», технический углерод – пиролизная сажа с размерами частиц в пределах  $10^{-3}$ - $10^{-6}$  мм, полученный в результате термического разложения резинотехнических изделий при недостатке кислорода, производства фирмы ООО «Элитар» Саратовской области. В качестве модифицирующей добавки использовался волокнистый целлюлозный наполнитель, полученный в результате мокрого измельчения макулатуры марок МС 8-11В по ГОСТ 10700-97 «Макулатура бумажная и картонная. Технические условия».

Для приготовления пенобетонной смеси и образцов на ее основе было использовано соотношение компонентов, указанное в таблице № 1.

Таблица № 1

Состав пенобетонной смеси на  $1 \text{ м}^3$

Наименование компонента	Цемент (ПШ), кг	Песок (П), кг	Вода (В), л	Пенообразователь (ПБ), л	Технический углерод (ТУ), кг	Волокнистый наполнитель (ВН), кг
Содержание компонента в смеси	320	200	210	0,3	3	10

При разработке технических параметров формования изделий на основе пенобетона были проведены эксперименты по установлению

зависимости физико-механических свойств готовых изделий от особенности организации структуры пенобетонной смеси (таблица № 2).

Таблица № 2

Физико-механические характеристики пенобетонных образцов

№ п. п.	Компоненты цементного раствора/ компоненты пены	Средняя плотность образцов, кг/м <sup>3</sup>	Прочность образцов при сжатии, МПа	Коэффициент теплопроводности образцов, Вт/(м×К)	Пористость, %	Сорбционная влажность, %	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ПЦ+П+В / ПБ+В+Т У+ВН	780	0,9-1,0	0,29	64-67	26-31	происходит полное оседание волокнистого наполнителя в пене, неравномерная структура
2	ПЦ+П+ТУ+В / ПБ+В+В Н	740	1,1-1,2	0,27	68-72	24-28	происходит частичное разрушение пены, неравномерная структура
3	ПЦ+П+ТУ+ВН+В / ПБ+В	515	2,65-2,97	0,10	87-89	12-14	равномерная ячеистая структура, ровная геометрия
4	ПЦ+П+ВН+В / ПБ+В+Т У	525	2,90-3,15	0,12	88-91	8-11	равномерная ячеистая структура, ровная геометрия
5	контрольный ПЦ+П+В/ПБ+В	650	1,2-1,4	0,18	74-78	18-22	ячеистая структура с частичными включениями пустот размером более 5 мм, ровная геометрия

Анализ данных приведенных в таблице № 2, показывает, что частицы наполнителей активно участвуют в организации структуры пенобетонной

смеси и образцов на ее основе, влияя на формирование средней плотности и пористости пенобетона. Введение технического углерода оказывает значительное влияние на снижение сорбционного водопоглощения, в сравнении с контрольным образцом, не содержащим технический углерод. Данный эффект объясняется частичной механической кольматацией внутренней поверхности пор и капилляров гидратирующихся цементных частиц за счет высокой дисперсности и гидрофобности частиц технического углерода. [7,8]

Наиболее качественные образцы получаются при отдельной стабилизации пены техническим углеродом (состав №4). Стабилизация пены происходит в результате эффекта «бронирования» каналов Плато частицами гидрофобного углерода, который препятствует быстрому истечению жидкости, при этом создавая в пене пространственный каркас, обеспечивающий ей устойчивость при введении цементного раствора. В свою очередь волокнистый целлюлозный наполнитель работает аналогичным способом в цементном растворе. Волокнистый целлюлозный наполнитель, покрытый тонкой пленкой цементного раствора при попадании в ячеистую среду пены, фиксируются в межпоровых перегородках совместно с частицами технического углерода, и сохраняет свое положение на протяжении всего процесса гидратации и твердения цементного камня. [9,10]

Волокнистый целлюлозный наполнитель в конструкционно-теплоизоляционном пенобетоне выполняет не только роль стабилизатора ячеистой структуры, но и за счет армирующего эффекта обеспечивает повышение прочности готовых изделий, которая подтверждается методом вырыва анкера из изделия (таблица № 3) размерами 600×300×200 мм с помощью прибора ПОС-50МГ-2ПБ (ООО СКБ «Стройприбор»).

Таблица № 3

Определение усилий вырыва анкеров, МПа

---

---

---

Диаметр анкера, мм	Содержание волокнистого наполнителя, %					
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
6	0,9	1,1	1,3	1,5	1,8	1,9
8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,0

Таким образом волокнистый целлюлозный наполнитель при концентрации 1,4 % от общей массы компонентов смеси (10-12 кг на 1 м<sup>3</sup> конструкционно-теплоизоляционного пенобетона), выполняет роль стабилизатора ячеистой структуры с повышением прочности до 2,9-3,15 МПа, при низких средней плотности до 530 кг/м<sup>3</sup> и коэффициенте теплопроводности до 0,12 Вт/(м×К).

#### Литература

1. Панасюк М.В. Практическое руководство. Характеристики и технологии монтажа новейших гидроизоляционных, теплоизоляционных, пароизоляционных материалов. Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 448 с.
2. Setter N., Roy D.M. Mechanical Flatures of Chemical Shrinkage of Cement Paste. // Cem. and Concr. Res. – 1978. – V.8. - №5. – pp. 623-634.
3. Чернышов Е.М. Формула "4С" (состав-структура-состояние-свойства) в концептуально-методологической парадигме современного строительного материаловедения. Международный сборник научных трудов «Строительные материалы - 4С: состав, структура, состояние, свойство», Новосибирский государственный аграрный университет Новосибирск 2015, с. 5 - 13
4. Соломатов В.И., Тахиров М.К., Тахер Шах Мд. Интенсивная технология бетонов: Совм. изд. СССР-Бангладеш. -М.: Стройиздат, 1989. – 264 с.: ил.
5. Иващенко Ю.Г., Страхов А.В., Багапова Д.Ю. Пенобетон с компенсированной усадкой // Техническое регулирование в

- транспортном строительстве. – 2016. – № 6(20). URL: [trts.esrae.ru/39-216](http://trts.esrae.ru/39-216).
6. Козлов, Н. А., Зинченко С.М., Козлова И.Э. Влияние активной минеральной добавки пумицита на процессы структурообразования неавтоклавного пенобетона // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. - 2015. - № 6. - С. 46-49 .
7. П.Н. Курочка, Р.Р. Мирзалиев. Соотношение размера частиц в полидисперсных структурах как первый шаг к оптимизации составов композиционных вяжущих // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1596](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1596).
8. Kobuliev Z.V. Modeling of process of karring heat and account of heat conductivity of composite materials / Z.V.Kobuliev, A.Sh.Sharifov, M.M.Safarov // ICCE/6, Sixth annual international conference on composites engineering. -Orlando, Florida, 1999. -pp.761-762
9. Смесь для изготовления пенобетона: патент РФ №2591996, 2015116058/03, заявл. 27.04.2015, опубл. 20.07.2016, Текст. / Иващенко Ю. Г., Страхов А. В., Багапова Д. Ю., Евстигнеев С. А. Бюл. №20. 7 с.
10. Г.В. Несветаев, А.В. Козлов, И.А. Филонов Влияние некоторых гидрофобизирующих добавок на изменение прочности цементного камня // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1709](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1709)

### References

1. Panasyuk M.V. Prakticheskoe rukovodstvo. Harakteristiki i tekhnologii montazha novejshih gidroizolyacionnyh, teploizolyacionnyh, paroizolyacionnyh materialov. [Characteristics and technologies of installation of the newest waterproofing, heat insulating, vapor insulating materials.] Rostov n/D: Feniks, 2005. 448s.





2. Setter N., Roy D.M. Cem. and Concr. Res. 1978. V.8. №5. pp. 623-634.
3. Chernyshov E.M. Mezhdunarodnyj sbornik nauchnyh trudov «Stroitel'nye materialy 4S: sostav, struktura, sostoyanie, svojstvo», Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. Novosibirsk 2015, pp. 5 - 13
4. Solomatov V.I., Tahirov M.K., Taher SHah Md. Intensivnaya tekhnologiya betonov: [Intensive Concrete Technology]. Sovm. izd. SSSR. Bangladesh.M. Strojizdat, 1989. 264 p.: il.
5. Ivashchenko YU.G., Strahov A.V., Bagapova D.YU. Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve. 2016. № 6(20). URL: [trts.esrae.ru/39-216](http://trts.esrae.ru/39-216).
6. Kozlov, N. A., Zinchenko S. M., Kozlova I. EH. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. SHuhova. 2015. № 6. pp. 46-49.
7. P.N. Kurochka, R.R. Mirzaliev. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1596/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1596/)
8. Kobuliev Z.V., Sharifov A.Sh., Safarov M.M. ICCE/6, Sixth annual international conference on composites engineering. Orlando, Florida, 1999. pp.761-762
9. Smes' dlya izgotovleniya penobetona: patent RF №2591996, 2015116058/03[Mixture for making foam concrete].
10. G.V. Nesvetaev, A.V. Kozlov, I.A. Filonov Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1709](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1709).