

# ENGINEER



international scientific journal

**SPECIAL ISSUE**

**E-ISSN**

3030-3893

**ISSN**

3060-5172



**SLIB.UZ**  
Scientific library of Uzbekistan



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT  
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state  
transport university



**ENGINEER**

**A bridge between science and innovation**

**E-ISSN: 3030-3893**

**ISSN: 3060-5172**

**SPECIAL ISSUE**

**24-april, 2025**



**[engineer.tstu.uz](http://engineer.tstu.uz)**

**MUHAMMADAMIN KABULOVICH TOHIROVNING TAVALLUDINING  
80 YILLIGIGA BAG'ISHLANGAN  
“SAMARALI QURILISH MATERIALLARI, KONSTRUKSIYALARI VA  
TEXNOLOGIYALARI”  
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIY-AMALIY KONFERENSIYASI  
ILMIY ISHLARI TO'PLAMI**

Toshkent davlat transport universiteti Rossiya Arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining akademigi, O'zbekiston Respublikasida xizmat ko'rsatgan yoshlar murabbiysi, texnika fanlari doktori, professor **Muhammadamin Kabulovich Tohirovning tavalludining 80 yilligiga bag'ishlangan “Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari”** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya ilmiy ishlari to'plami chop etildi.

Muhammadamin Kabulovich kompozitsion qurilish materiallarining polistrukturaviy nazariyasini rivojlantirishga ulkan hissa qo'shgan olimdir. 1995-yilda Muhammadamin Kabulovich Rossiya Arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining (RAASN) xorijiy a'zosi etib saylangan, bu esa ularning qurilish materialshunosligi sohasiga qo'shgan ilmiy hissasining xalqaro miqyosdagi e'tirofi bo'ldi. Ular o'z ilmiy faoliyati davomida 6 ta monografiya, 200 dan ortiq ilmiy maqola va 25 ta ixtiroga mualliflik guvohnomasi yaratganlar.

Ushbu konferensiyaning asosiy maqsadi – qurilish materialshunosligi, bino va inshootlarni loyihalash hamda qurilish sohasidagi zamonaviy ilmiy tadqiqotlar natijalarini muhokama qilish, shuningdek, muhandislik ta'limini takomillashtirish yo'llarini aniqlashdir.

Konferensiyada O'zbekiston Respublikasi hamda xorijiy mamlakatlarning oliy o'quv yurtlari va ilmiy-tadqiqot institutlari olimlari, shuningdek, muhim ilmiy tadqiqot natijalariga ega bo'lgan ishlab chiqarish vakillari o'z ilmiy ishlari bilan ishtirok etdilar.

**“Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari”** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyaning asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat:

1. **Resurs va quvvatni tejaydigan qurilish materiallari va texnologiyalari** – zamonaviy ekologik va iqtisodiy talablarni qondirishga qaratilgan innovatsion yechimlar.
2. **Bino va inshootlarning qurilish konstruksiyalari, zamonaviy hisoblash va loyihalash usullari - muhandislik** va texnologik yechimlarni takomillashtirish yo'nalishlari.
3. **Arxitektura va shaharsozlik** – estetik va funksional jihatlarni uyg'unlashtirgan zamonaviy loyihalar yaratish.
4. **Zamonaviy muhandislik ta'limi tizimini takomillashtirish** – kelajak mutaxassislarini yuqori malakali darajada tayyorlash uchun ta'lim jarayonini modernizatsiya qilish.

Mazkur konferensiya ilmiy hamjamiyatning turli vakillarini bir joyga jamlab, qurilish materialshunosligi sohasidagi zamonaviy muammolar va istiqbollarni muhokama qilish uchun qulay platforma vazifasini bajardi.

# Critical analysis of modern technologies and formulations of non-autoclaved aerated concrete for production conditions in the Republic of Uzbekistan

V.M. Soy<sup>1</sup><sup>a</sup>, G.S. Nuriddinova<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** Foam concrete is a modern and efficient thermal insulation material, representing a system of interconnected air cells within a cement matrix. Considering the promising potential for improving technologies and compositions of foam concrete, further development of formulation and technological approaches is justified. A critical analysis concludes that the introduction of fiber and a modifying component, combined with chemical additives acting as hardening accelerators, positively affects the operational properties of foam concrete and the rheological characteristics of foam-cement mixtures.

**Keywords:** foam concrete, modification, shrinkage during drying, fiber, surfactant (SAA)

## Критический анализ современных технологий и рецептур неавтоклавного пенобетона для условий производства в Республике Узбекистан

Цой В.М.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Нуриддинова Г.С.<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** Пенобетон – современный эффективный теплоизоляционный материал, представляющий собой систему, сообщающихся воздушных ячеек в цементной матрице. Учитывая перспективность усовершенствования технологий и составов пенобетонов, имеет смысл дальнейшая разработка рецептурных и технологических приемов. По критическому анализу делается вывод о том, что введение фибры и модифицирующего компонента в сочетании с химическими добавками, как ускорители твердения, положительно сказывается на эксплуатационные и физико механические свойства неавтоклавного пенобетона.

**Ключевые слова:** пенобетон, модификация, усадка при высыхании, фибра, ПАВ

### 1. Введение

Пенобетон – современный эффективный теплоизоляционный материал, представляющий собой систему, сообщающихся воздушных ячеек в матрице. Ключевые характеристики достигаются за счет низкой плотности и малого коэффициента теплопроводности. Но структурообразование данного материала на микро- и макроуровне трудно поддается управлению и регулированию. Требуется одновременную корректировку нескольких параметров таких как реологические свойства, усадка при высыхании, трещиностойкость. Параллельное применение рецептурных и технологических приемов дает синергетический эффект при решении задач повышения эксплуатационных свойств пенобетонов.


### 2. Методика исследования

В статье применены несколько методов теоретического исследования. Методом анализа рассмотрено влияние всех компонентов состава пенобетона на его усадочные деформации и прочность. Методом синтеза установлен связь и зависимость

рецептурно -технологических факторов улучшения состава пенобетона. Так как в ряде научных работ [5-15] образцы пенобетонов с применением минеральных добавок и фибры показали низкие усадочные деформации, по методу индукции сделан вывод о пользе минеральных, химических добавок в сочетании с фибрами.

Один из существенных недостатков пенобетона это – усадка при высыхании. По данным [1-4] можно указать причины усадок: 1. Объем гидратированных продуктов меньше, чем исходный объем вяжущего; 2. Физическая усадка - вода из пор, находящихся в пузырьках, также испаряется, и структура начинает сжиматься, вызывая микротрещины в материале, что также способствует дальнейшей усадке. 3. Изменение влажности поразному действует на цементную матрицу и газовую фазу. Так как цементная матрица теряет воду быстрее, чем поры происходит неравномерная усадка. Это приводит к напряжению внутри материала, что способствует развитию микротрещин, особенно при наличии высоких уровней влажности в первоначальной смеси. 4. Отрицательное действие ПАВ и пластифицирующих добавок как замедление процессы схватывания и твердения вяжущего, что может привести к деструкции пеноцементной системы до момента схватывания вяжущего - пеноцементная масса дает

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0009-7560-2691>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0005-4832-4623>





усадку, по высоте свежеуложенного массива образуются сплошные каналы слияния пузырьков и снижению эксплуатационных показателей конечного продукта. 5. С точки зрения коллоидной химии

пеноцементная масса относится к лиофобным грубодисперсным высококонцентрированным системам, которые седиментационно неустойчивые.



Рис.1. Совокупность рецептурных и технологических приемов

Для решения этой задачи нужно применить комплекс рецептурно-технологических приемов с разного аспекта, т.е. выбрать разные объекты рецептурного приема и варьировать количественными показателями рецептурного состава. Например, по данным [5] который эффективно применил ускоритель твердения NaF, NaCl (0,5 и 5 % от массы вяжущего) совместно с кремне- и железосодержащей добавкой для пенобетона на протеиновом пенообразователе. Стабилизация пены, увеличение толщины пленки возникает в результате взаимодействия частиц золя кремниевой кислоты и пенообразователя с образованием структурного пространственного кремнепротеинового комплекса. Наблюдается повышение устойчивости пены в 4 раза, уменьшение среднего диаметра пор от 600 мкм до 520 мкм, увеличение числа пор среднего диаметра и прочности продукта. В данных образцах появляется новая фаза - гидро силикат афвиллит. Взаимодействие вводимых добавок с твердым каменным скелетом пенобетона приводит к связыванию  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в новообразования.

Или же можно отметить эффективность совокупности нескольких рецептурных мер в исследованиях [6], где применили модифицирующие добавки кварцевую суспензию, ангидрит и калиевые, натриевые активаторы твердения и базальтовую фибру. Стабилизация пенной структуры с увеличением стойкости достигается избытком твердой фазы, не осевшей на поверхности пузырька из-за высокой ее концентрации. Это обеспечивает закупорку каналов Плато-Гиббса с формированием уплотненной упаковки твердых частиц в межпузырьковом пространстве.

Анализ данных [7] показывает, что дисперсное армирование в комбинации низко модульных (полипропиленовые) и высоко модульных (базальтовые) волокон значительно снижает усадку и повышает прочность пенофибробетона. Волокна создают пространственный каркас, и чем меньше их диаметр и длина, больше содержание в структуре ячеистого бетона, тем меньше длина трещин. Волокна изменяют капиллярную структуру пористости, делая ее

преимущественно замкнутой. Таким образом, усадка уменьшается из-за затруднения испарения капиллярной влаги. Высоко модульные волокна сдерживают усадочные деформации и блокируют образование трещин в плотных межпоровых перегородках с момента начала формирования структуры и при последующей эксплуатации фибропенобетона. Низко модульные волокна исключают развитие усадочных явлений и трещинообразования на уровне макроструктуры композита. Такой же эффект армирования достигается за счет применения синтетических волокон [8], где с помощью фибры изменено напряженно-деформативное состояние материала под действием сжимающих нагрузок, поэтому параметры его призмочной прочности на 30-35% превышают кубиковую прочность, повышение прочности на растяжение при раскалывании в 1,2-2,5 раза.

Армирование пенобетонов на основе протеинового пенообразователя отрезками базальтовых волокон с кремне содержащим составом  $\text{SiO}_2$  – 48-51% тоже дают возможность уменьшения усадки при высыхании до 1,37 мм/м, более чем в 2 раза [9]. Это объясняется с тем, что на границе цементного камня и базальтового волокна находящегося в аморфном состоянии происходит хемосорбционное взаимодействие с продуктами гидратации цемента, с образованием тончайших игольчатых кристаллов на поверхности цементных зерен, а также, крупных, но чрезвычайно тонких гексагональных пластин в межзерновом пространстве, упрочняющих систему целиком. Торцевую часть базальтового волокна проникают продукты гидратации цемента с образованием кристаллических сростков упрочняющих систему целиком. Базальтовое волокно состоит из еще более тонких волокон. Возможно, на их поверхности в местах механических дефектов создаются центры кристаллизации, с образованием сети тонких гексагональных пластин и игольчатых кристаллов, срастающихся со сферическими зёрнами цементной системы, дополнительно усиливая действие волокна как дисперсной арматуры. Благодаря этому происходит

увеличение прочности цементного камня.

Введение в систему кремнесодержащих минеральных наполнителей вместе с ускорителями твердения влияет двояко: уменьшает усадку, стабилизируя пенную массу и участвует в появлении новообразований цементной матрицы [10]. Применение высокодисперсных минеральных добавок различной удельной поверхности оптимизирует дисперсный состав – получается ячеистая структура с тонкими, плотными, прочными перегородками. Прочность повышается и усадка снижается за счет формирования однородной плотной структуры межпоровых перегородок и расширяющего действия этtringита, а также формирования низкоосновных тоберморитоподобных гидросиликатов кальция.

В этом направлении имеет место применение микрокремнезема в аморфном состоянии в комбинации их с золями-уноса для пенобетонов на синтетических пенообразователях. Анализируя данных [11], делаем вывод, что для синтетических пенообразователей скорость адсорбции на поверхности раздела фаз жидкость—газ очень велика, поэтому время достижения термодинамического равновесия очень короткое. В связи с этим необходимо вводить стабилизирующие добавки с определением ККМ. В качестве таких стабилизаторов участвуют раствор животного клея, жидкое стекло, сернокислородное железо, лигносульфонаты и др., или же используют высокодисперсные добавки в виде золы ТЭС, микрокремнезема, извести, доменных гранулированных шлаков. В таких случаях синтетические ПО имеют водородный показатель близкий к фоновому показателю цементного раствора, обладают большей устойчивостью и кратностью пены по сравнению с белковыми ПО. Синтетические пенообразователи оказывают большее влияние на поверхностное натяжение растворов, чем белковые.

Оценивая роль В/Т в усовершенствовании составов пенобетона по данным [11]: при значениях В/Т меньше 0,3 становится невозможным формирование пенобетонной смеси. Если В/Т превышает 0,76, снижается однородность исходной смеси и увеличивается расслоение пенобетона. Еще один немаловажный фактор это – разница показателя рН среды ПО и цементной системы - с увеличением разницы возрастает влияние стерического эффекта, что приводит к разрушению пены. Поэтому рН раствора ПО должен быть близок к фоновому рН цементного раствора.

С негативным влиянием ПАВ можно бороться с введением разных модифицирующих добавок. Например, по результатам [12] можно сделать вывод о том, что совместное применение комплексно модифицирующих добавок на основе алкилзамещенных фенолов и минеральных тонкодисперсных кремнистых наполнителей значительно повышает свойства пены - кратность до 40% и стойкость до 55%. Благодаря кремнесодержащему наполнителю седиментационная устойчивость пеномассы повысилась на 30%.

Что касается выбора типа пенообразователя, обобщая данные [5-12] можно сделать вывод, что синтетические ПО уступают протеиновые. Каждый вид ПО имеет свои требования по использованию такие как введение стабилизаторов, совместимость с другими компонентами пенобетона, температура воды и т.д.

Самыми важными методами регулирования технологического процесса в пенобетонах являются контроль температуры воды [14] и последовательность

введения компонентов [13]. Установлено [14], что синтетические пены, приготовленные на воде с температурой  $+4\pm 2^\circ\text{C}$ , сохраняют свою устойчивость в 2 раза дольше, чем пены на воде с температурой  $+20\pm 2^\circ\text{C}$ , и в 3 раза дольше, чем пены на воде с температурой  $+37\pm 2^\circ\text{C}$ . Пенообразование растворов на подогретой и теплой воде начинается с резкого роста объема пены в течение 1 и 2 минуты, с третьей минуты перемешивания воздухововлечение стабилизируется - большая часть адсорбционных свойств пенообразователей проявляется в течение 1-2 мин. Воздухововлечение же растворов ПАВ на воде максимальной плотности ( $+4\pm 2^\circ\text{C}$ ) характеризуется сравнительно плавным ростом в течение первых 5-6 мин., а затем стабилизируется. Ранняя потеря устойчивости и стойкости пенных пленок связаны со свойствами воды - чем выше её температура, тем больше размах колебаний молекул воды и тем быстрее разрушаются пленки, в которых она находится. Чем ниже температура воды, тем меньше водопотребность, определяемая по величине диаметра расплыва смеси на вискозиметре Суттарда.

Дисперсность теплых пен была низкой, чем крупнее пузырьки газовых включений в пеносмеси, тем более неустойчивыми они становятся и тем ниже будет качество затвердевшего бетона. Пены, изготовленные на воде  $+4^\circ\text{C}$ , обладают повышенной плотностью и дисперсностью.

Анализ физических свойств пен [15] показывает, что независимо от вещественной природы пенообразователя понижение температуры воды ведет к повышению показательных характеристик пен.

### 3. Выводы и рекомендации

Делая вывод из вышеизложенного, пенобетоны отличаются сложным структурообразованием на микро- и макроуровне при усовершенствовании их составов требуется комплекс мер по регулированию рецептурно-технологических факторов. Введение в состав минеральных наполнителей и химических модификаторов можно регулировать свойства разрабатываемого неавтоклавного пенобетона. В связи с этим представляется научный и практический интерес в исследовании физико-механических и эксплуатационных свойств неавтоклавного пенобетона на местных сырьевых материалах.

### Использованная литература / References

- [1] Mehta P.K. & Monteiro P.J.M.: Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. McGraw-Hill Education, 2014.
- [2] Sonebi M. The effect of the porosity on the drying shrinkage of cellular concrete. Cement and Concrete Research. 2004. 34(9).
- [3] Bentz D.P. Microstructure of cement-based materials. 2007. Materials Science of Concrete. Vol.
- [4] Gutsche S. Effect of shrinkage on cellular concrete properties. Construction and Building Materials. 2015. No. 92. Pp 91-97.



[5] Елисеева Н.Н., Пенобетоны неавтоклавного твердения на основе добавок наноразмера: Автореф. дис. канд. тех. наук. Санкт-Петербург, 2010.

[6] Нецвет Д.Д., Неавтоклавный пенобетон с комплексом минеральных модификаторов: Автореф. дис. канд. тех. наук. Белгород, 2019.

[7] Суворов И.Н., Дисперсное полиармирование как способ снижения усадки фибропенобетона: Автореф. дис. канд. тех. наук. Санкт-Петербург, 2016.

[8] Богатина А.Ю., Конструкционные фибропенобетоны для зданий гражданского типа: Автореф. дис. канд. тех. наук. Ростов-на-Дону, 2005.

[9] Калугин И.Г., Пенобетоны дисперсно-армированные базальтовым волокном: Дисс. канд. тех. наук. Красноярск, 2011.

[10] Касумов Ш.А., Пенобетон с повышенными эксплуатационными свойствами: Автореф. дис. канд. тех. наук. Москва, 2017.

[11] Горбач П.С., Эффективный пенобетон на синтетическом пенообразователе: Автореф. дис. канд. тех. наук. Улан-Уде, 2007.

[12] Букарева А.Ю., Неавтоклавный пенобетон с комплексной модифицирующей добавкой на основе алкилзамещенных фенолов: Автореф. дис. канд. тех. наук. Саратов, 2004.

[13] Черноситова Е.С., Теплоизоляционный пенобетон на модифицированных пеноцементных смесях: Автореф. дис. канд. тех. наук. Белгород, 2005.

[14] Смирнова П.В., Температурный фактор в технологии фибропенобетона: Автореф. дис. канд. тех. наук. Ростов-на-Дону, 2010.

[15] Л.В.Моргун, П.В. Смирнова, К.И. Костыленко, О.В. Пушенко, В.Н. Моргун., О влиянии температуры на особенности формирования структуры пенобетонных смесей. <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vliyani-temperatury-na-osobennosti-formirovaniya-struktury-penobetonnyh-smesey>.

## Информация об авторах/ Information about the authors

<b>Цой Владимир Михайлович / Soy Vladimir Mikheylovich</b>	Ташкентский государственный транспортный университет Доктор технических наук, профессор, e-mail: <a href="mailto:volodya_tsoy@inbox.ru">volodya_tsoy@inbox.ru</a> , <a href="https://orcid.org/0009-0009-7560-2691">https://orcid.org/0009-0009-7560-2691</a>
<b>Нуриддинова Гавхар Садулла кизи / Nuriddinova Gavhar Sadulla kizi</b>	Ташкентский государственный транспортный университет Докторант e-mail: <a href="mailto:nuriddinova_gavhar@mail.ru">nuriddinova_gavhar@mail.ru</a> <a href="https://orcid.org/0009-0005-4832-4623">https://orcid.org/0009-0005-4832-4623</a>



### ***1 section. Resource- and energy-saving construction materials and technologies***

***A. Adylkhodjayev, I. Kadyrov, O. Tukhtasinov, H. Sadykova***

*Study of Porous Structure of Concrete on the Basic of Polyfunctional Additive and Low-Active Mineral Filler.....7*

***Kh. Akramov, Sh. Rakhimov***

*Properties of fine-grained concrete from raw materials of our Republic.....10*

***I. Makhamataliev, R. Muminov, Sh. Uzakov***

*Optimization of the composition of fine-grained concrete reinforced with polypropylene fiber .....14*

***V. Soy, G. Nuriddinova***

*Critical analysis of modern technologies and formulations of non-autoclaved aerated concrete for production conditions in the Republic of Uzbekistan .....18*

***N. Takhirzhanov, A. Ismaylova***

*Vermiculite-based energy-saving concretes: experimental study of strength.....22*

***R. Auezbaev, P. Lepasbaeva***

*Structure of ceramic fragments with vermiculite additives in various forming methods.....27*

***M. Musazhonov, A. Ibadullaev, U. Chorshanbiev***

*Study of polymer compositions for pipe washing on the hydraulic transport of dispersed systems.....33*

***N.V. Drobchenko***

*The use of energy-efficient and environmentally friendly materials in modern construction.....37*

***G. Moskvitin, V. Arkhipov, M. Pugachev***

*Production of non-corrosive coatings based on copper and zinc by gas-dynamic method .....42*

***M. Mekhmonov***

*Theoretical and experimental studies of embankment reinforcement in the area where the railway roadbed meets the bridge.....48*

***V. Soy, U. Shermukhamedov, N. Mukhammadiev, Vang Meng, Zhao Yue***

*Fine-grained basalt-fiber concrete for reinforced concrete structures of formwork-free production .....52*