

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №4, Том 11 / 2019, No 4, Vol 11 <https://esj.today/issue-4-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/56SAVN419.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Сухоручкин А.Н., Чернильник А.А., Третьякова М.В., Яновская А.В., Доценко Н.А., Бондарук А.Д.  
Зависимость физико-механических характеристик пенобетона от продолжительности и интенсивности  
перемешивания пенобетонной смеси // Вестник Евразийской науки, 2019 №4,  
<https://esj.today/PDF/56SAVN419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Suhoruchkin A.N., Chernil'nik A.A., Tret'yakova M.V., Yanovskaya A.V., Dotsenko N.A., Bondaruk A.D. (2019).  
Dependence of physical and mechanical characteristics of foam concrete on the duration and intensity of mixing of  
foam concrete mixture. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 4(11). Available at:  
<https://esj.today/PDF/56SAVN419.pdf> (in Russian)

**УДК 691**

**ГРНТИ 67.09.33**

**Сухоручкин Артем Николаевич**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: artem.suhoruchkin@yandex.ru

**Чернильник Андрей Александрович**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: chernila\_a@mail.ru

**Третьякова Марина Вадимовна**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: trietyakova72@bk.ru

**Яновская Алина Вадимовна**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: kgweny@gmail.com

**Доценко Наталья Александровна**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Студент  
E-mail: natalya\_1998\_dotsenko@mail.ru

**Бондарук Андрей Дмитриевич**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Студент  
E-mail: andrey\_bondaruk99@mail.ru

**Зависимость физико-механических характеристик  
пенобетона от продолжительности и интенсивности  
перемешивания пенобетонной смеси**

**Аннотация.** Физико-механические показатели пенобетона предопределили перспективность его применения в строительстве не только как конструкционного, но и как теплоизоляционного материала. Основную роль в решении проблем, связанных с энергосбережением при производстве строительных материалов, изделий и конструкций, таких как пенобетоны, играют конструктивно-технические характеристики оборудования, которые напрямую зависят от вида используемой технологии. Опыт многочисленных исследований и практическое применение их результатов показывают, что имеющиеся технологии конструкционно-теплоизоляционных и теплоизоляционных неавтоклавных пенобетонов требуют совершенствования. Возможно получать эффективные конструкционные и конструкционно-теплоизоляционные материалы по следующим основным технологиям: трехстадийной – классической схеме; баротехнологии; «сухой минерализацией» пены; одностадийной. Производство пенобетона является сложным технологическим процессом, который требует учитывать существенное количество параметров. Для пенобетонных смесей, как и для всех дисперсных систем, характерна нестабильность ячеистой структуры. Одна из основных причин – повышенное содержание воды в смесях. Оно обусловлено необходимостью облегчения процесса порообразования. Повышенное водоцементное отношение смесей ведет к увеличению длительности выдерживания изделий перед распалубкой, и, в конечном итоге, снижению прочности пенобетона. В научно-исследовательской лаборатории Донского государственного технического университета поставлена задача и проведены исследования по оценке влияния скорости и продолжительности перемешивания пенобетонной смеси на физико-механические характеристики пенобетона – плотность, прочность при сжатии, коэффициент конструктивного качества. Наибольший коэффициент конструктивного качества зафиксирован у образцов пенобетона, полученных при скорости перемешивания, близкой к 1000 об/мин и продолжительности перемешивания, примерно равной 4 мин. Средняя плотность пенобетонных образцов с увеличением скорости и продолжительности перемешивания смеси уменьшалась.

#### **Вклад авторов.**

Чернильник Андрей Александрович – автор одобрил окончательную версию статьи перед ее подачей на публикацию.

Доценко Наталья Александровна – автор осуществил написание статьи.

Яновская Алина Вадимовна – автор осуществил написание статьи.

Бондарук Андрей Дмитриевич – автор собрал, проанализировал и интерпретировал материал для статьи.

Сухоручкин Артем Николаевич – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Третьякова Марина Вадимовна – автор оказывал участие при оформлении статьи.

**Ключевые слова:** ячеистый бетон; пенобетон; конструкционно-теплоизоляционный пенобетон; плотность; прочность; коэффициент конструктивного качества; технологические факторы

Применение ячеистых бетонов способствует снижению веса зданий и повышению эффективности труда в строительстве, приводит к снижению стоимости зданий и сооружений [1].

В большинстве случаев для приготовления пенобетонной смеси наиболее экономичным оказывается применение турбулентных смесителей. При перемешивании пенобетонной смеси в ряде случаев оказывается выгодней уменьшить дисперсность заполнителя, чем повышать частоту вращения и размеры мешалки для обеспечения поддержания крупных частиц во взвешенном состоянии [2].

Основную роль в решении проблем, связанных с энергосбережением при производстве строительных материалов, изделий и конструкций, таких как пенобетоны, играют конструктивно-технические характеристики оборудования, которые напрямую зависят от вида используемой технологии. Опыт многочисленных исследований и практическое применение их результатов показывают, что имеющиеся технологии конструкционно-теплоизоляционных и теплоизоляционных неавтоклавных пенобетонов требуют совершенствования [3–5].

Возможно получать эффективные конструкционные и конструкционно-теплоизоляционные материалы по следующим основным технологиям: трехстадийной – классической схеме; баротехнологии; «сухой минерализацией» пены; одностадийной. Краткое описание технологий неавтоклавного пенобетона и его анализ показывает, что одностадийная технология пенобетонных смесей, при которой процессы приготовления пены и цементно-песчаной массы совмещены в высокоскоростном пенобетоносмесителе, представляется более эффективной. Эта технология за счет регулирования гидродинамических, массообменных и энергетических характеристик позволяет осуществлять управление процессами формирования ранней структуры пенобетонов при перемешивании [6].

Производство пенобетона является сложным технологическим процессом, который требует учитывать существенное количество параметров. Для пенобетонных смесей, как и для всех дисперсных систем, характерна нестабильность ячеистой структуры. Одна из основных причин – повышенное содержание воды в смесях. Оно обусловлено необходимостью облегчения процесса порообразования. Повышенное водоцементное отношение смесей ведет к увеличению длительности выдерживания изделий перед распалубкой, и, в конечном итоге, снижению прочности пенобетона [7–9].

В Ростовском государственном строительном университете проводились исследования, направленные на совершенствование технологии производства и повышение качества пенобетонов. Сделан вывод о том, что повышение эффективности производства пенобетона возможно активацией пенобетонной смеси. В состав смеси должно входить цементное вяжущее, вода, кремнеземистый компонент и пенообразователь. В качестве помольного агрегата в исследованиях использована установка обработки материалов, относящаяся к аппаратам вихревого слоя. Выбор такой установки обусловлен простотой и надежностью конструкции, а также ее высокой энергоэффективностью. В процессе работы были подобраны рациональные режимы активации и составы пенобетонной смеси. В процессе обработки происходит помол твердых компонентов, при этом значительно возрастает площадь их реакционной поверхности и однородность смеси. Это обеспечивает активизацию процессов структурообразования пенобетонной смеси и повышает качественные характеристики пенобетона. Оптимизация состава пенобетонной смеси и выбор рациональных режимов активации позволяют повысить удельную поверхность твердых компонентов пенобетонной смеси при мокром помолу на 30–40 % и значительно повысить прочность пенобетона (до 30–60 %). При этом наблюдается снижение плотности (до 10 %) и повышение однородности макроструктуры пенобетона за счет высокой степени гомогенизации и дополнительной поризации пенобетонной смеси при обработке в установке [10].

Целью исследования авторов являлась оценка влияния технологических факторов, таких как скорость и продолжительность перемешивания пенобетонной смеси на физико-механические характеристики производимого бетона, такие как плотность, прочность при сжатии и коэффициент конструктивного качества для дальнейшего применения полученных результатов в лабораторных исследованиях, а также подготовки предложений для апробации в производственных условиях.

В научно-исследовательской лаборатории Донского государственного технического университета была поставлена задача и проведены исследования по оценке влияния скорости и продолжительности перемешивания пенобетонной смеси на физико-механические характеристики пенобетона – плотность, прочность при сжатии, коэффициент конструктивного качества (ККК).

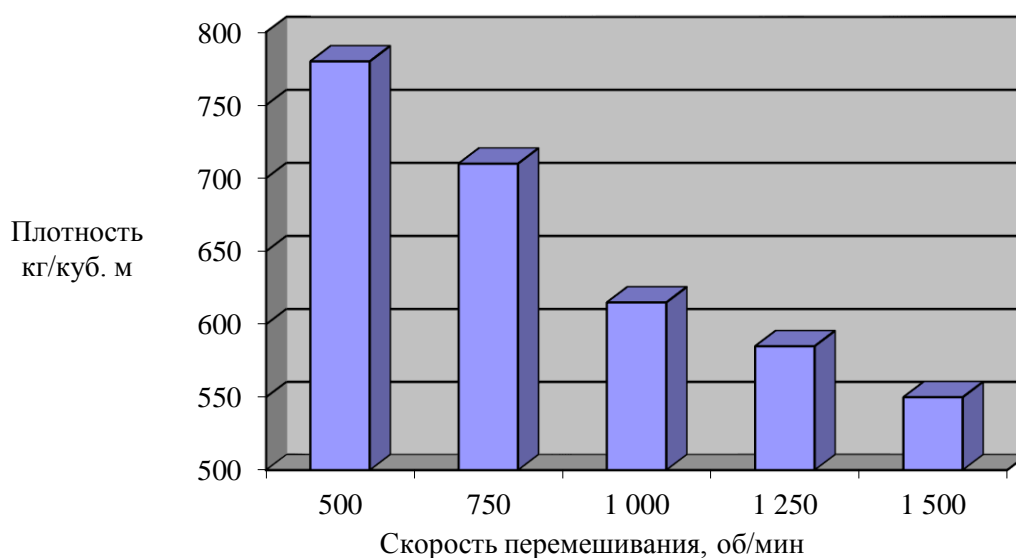
Во всех опытах для приготовления пенобетонной смеси применяли портландцемент без добавок активностью  $R_{ц} = 40-42$  МПа, песок смеси фракций 0,08–0,16 и 0,16–0,315 мм и синтетический пенообразователь «Центрипор». Пенобетонную смесь готовили в турбулентном смесителе за один приём [11–14]. В первой серии опытов продолжительность перемешивания смеси составляла 4 минуты.

Результаты проведенных исследований по оценке влияния скорости перемешивания пенобетонной смеси на плотность, прочность при сжатии и коэффициент конструктивного качества представлены в таблице 1 и рисунках 1–2.

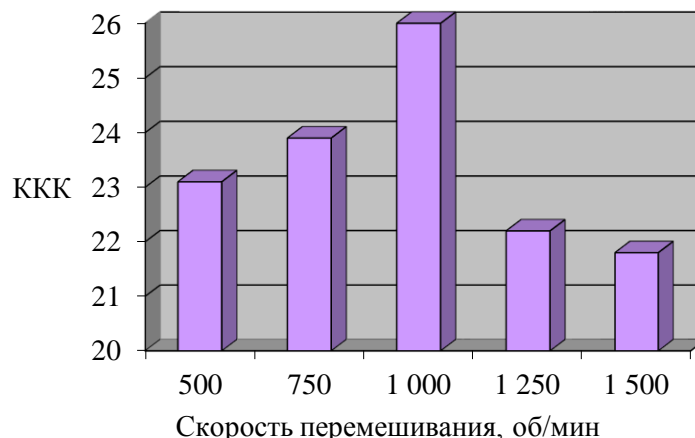
**Таблица 1**

**Результаты испытаний образцов пенобетона на физико-механические показатели при постоянной продолжительности перемешивания смеси**

№ п/п	Скорость перемешивания, об/мин	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	ККК
1	500	780	1,8	23,1
2	750	710	1,7	23,9
3	1000	615	1,6	26,0
4	1250	585	1,3	22,2
5	1500	550	1,2	21,8



**Рисунок 1.** Зависимость плотности образцов пенобетона от интенсивности (скорости) перемешивания пенобетонной смеси (составлено авторами)



**Рисунок 2.** Зависимость коэффициента конструктивного качества образцов пенобетона от интенсивности (скорости) перемешивания пенобетонной смеси (составлено авторами)

Установив экспериментальным путем по значениям показателя «коэффициент конструктивного качества», что наиболее эффективной является скорость перемешивания пенобетонной смеси, равная  $1000 \pm 100$  об/мин, во второй серии опытов уже варьировали продолжительность перемешивания.

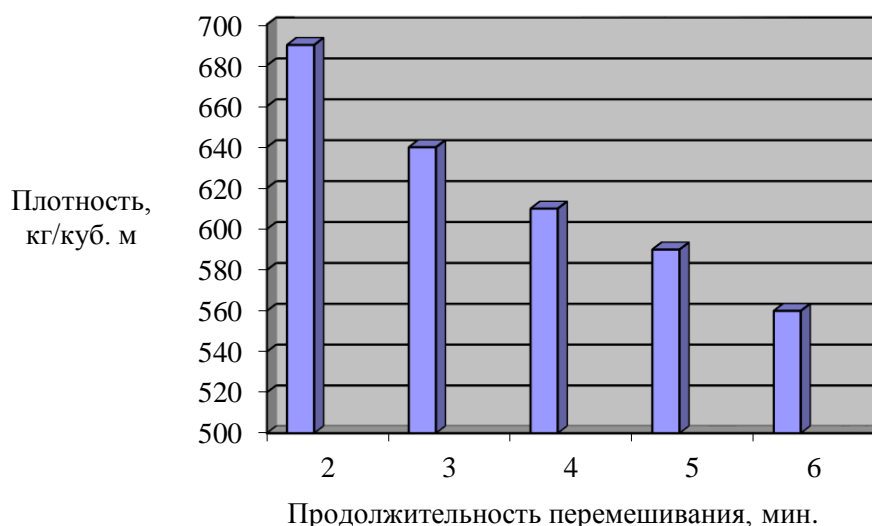
Результаты проведенных исследований по оценке влияния продолжительности перемешивания пенобетонной смеси на плотность, прочность при сжатии и коэффициент конструктивного качества представлены в таблице 2 и рисунках 3–4.

**Таблица 2**

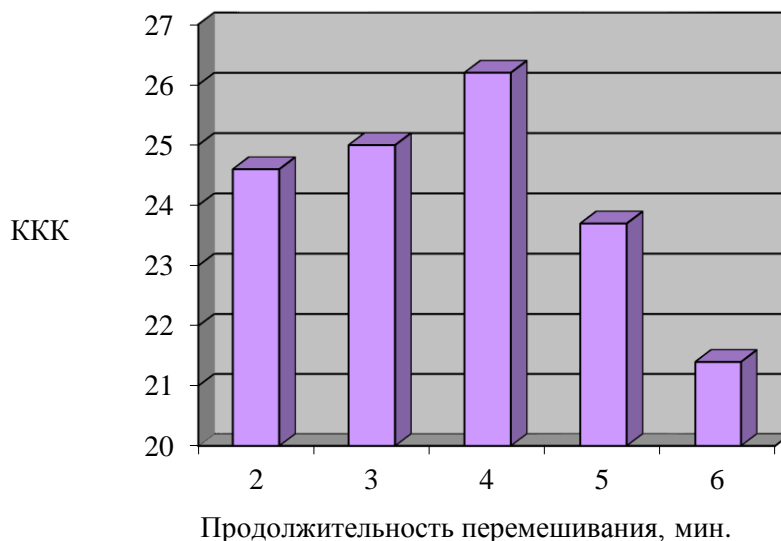
**Результаты испытаний образцов пенобетона на физико-механические показатели при постоянной скорости перемешивания смеси**

№ п/п	Продолжительность перемешивания, мин.	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	ККК
1	2	690	1,7	24,6
2	3	640	1,6	25,0
3	4	610	1,6	26,2
4	5	590	1,4	23,7
5	6	560	1,2	21,4

Составлено авторами



**Рисунок 3.** Зависимость плотности образцов пенобетона от продолжительности перемешивания пенобетонной смеси (составлено авторами)



**Рисунок 4.** Зависимость коэффициента конструктивного качества образцов пенобетона от продолжительности перемешивания пенобетонной смеси (составлено авторами)

Анализ полученных результатов экспериментальных исследований позволил сделать следующие выводы.

Наибольший коэффициент конструктивного качества зафиксирован у образцов пенобетона, полученных при скорости перемешивания, близкой к 1000 об/мин и продолжительности перемешивания, примерно равной 4 мин. Средняя же плотность пенобетонных образцов с увеличением скорости и продолжительности перемешивания смеси уменьшалась.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А.Т., Макаричев В.В. Ячеистые бетоны с пониженной объемной массой. М.: Стройиздат, 1974. С. 4.
2. Кузнецов С.В. Влияние параметров процесса перемешивания на структурообразование и свойства пенобетонных смесей. Ростов н/Д: РГСУ URL: [conf.bstu.ru/conf/docs/0029/0595.doc](http://conf.bstu.ru/conf/docs/0029/0595.doc).
3. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. Избранные труды. М.: Наука, 1978. 368 с.
4. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. М.: Стройиздат, 1980. 399 с.
5. Портник А.А. Все о пенобетоне. СПб.: 2003. 224 с.
6. Ткаченко Т.Ф. Совершенствование ранней структуры неавтоклавных пенобетонов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Воронеж, 2009. 156 с.
7. Гусейнова В.В. Модифицирование неавтоклавных пенобетонов одностадийного приготовления суперпластификатором С-3 и электролитами: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 2006. 168 с.
8. Kearsley E.P. The use of foamcrete for affordable development in third world countries international congress, concrete in service of mankind, Scotland, June 1996.
9. Schiller K.K. Skeleton strength and critical porosity in set sulphate pasterns. British journal of applied physics. Vol 11. 1960.
10. Торлина Е.А., Шуйский А.И., Новожилов А.А., Федорова И.А. Активация пенобетонной смеси в электромагнитных установках / «Строительство-2013»: Строительные технологии, материалы и качество в строительстве: мат. Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2013. 228 с.
11. Щербань Е.М., Гольцов Ю.И., Ткаченко Г.А., Стельмах С.А. Рецептурно-технологические факторы и их роль в формировании свойств пенобетонов, полученных из смесей, обработанных переменным электрическим полем // Инженерный вестник Дона, 2012, № 3 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/905](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/905).
12. Щербань Е.М. Регулирование структурообразования и свойств теплоизоляционных пено- и фибропенобетонов, активированных малоэнергоемким переменным электрофизическим воздействием, технологическими и рецептурными факторами: дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2014. 216 с.
13. Стельмах С.А. Влияние параметров малоэнергоемких переменных электрических полей на свойства активированных теплоизоляционных пено- и фибропенобетонов: дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2014. 185 с.
14. Пат. 2538567 Российская Федерация, МПК С04В 40/00, С04В 38/10. Способ изготовления строительных изделий и пенобетона / Гольцов Ю.И., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Явруян Х.С.; заявитель и патенообладатель Ростов-на-Дону, Рост. гос. строит. ун-т. – № 2013156354/03; заявл. 18.12.13; опубл. 10.01.15. – 9 с.: ил.

**Suhoruchkin Artem Nikolaevich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: artem.suhoruchkin@yandex.ru

**Chernil'nik Andrey Aleksandrovich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: chernila\_a@mail.ru

**Tret'yakova Marina Vadimovna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: trietyakova72@bk.ru

**Yanovskaya Alina Vadimovna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: kgweny@gmail.com

**Dotsenko Natal'ya Aleksandrovna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: natalya\_1998\_dotsenko@mail.ru

**Bondaruk Andrey Dmitrievich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: andrey\_bondaruk99@mail.ru

## **Dependence of physical and mechanical characteristics of foam concrete on the duration and intensity of mixing of foam concrete mixture**

**Abstract.** Physical and mechanical characteristics of foam concrete predetermined the prospects of its use in construction not only as a structural, but also as a thermal insulation material. The main role in solving the problems associated with energy saving in the production of building materials, products and structures, such as foam concrete, play structural and technical characteristics of the equipment, which directly depend on the type of technology used. The experience of numerous studies and practical application of their results show that the existing technologies of structural and thermal insulation and non-autoclave foam concrete require improvement. It is possible to obtain effective structural and structural-thermal insulation materials on the following basic technologies: three-stage-classical scheme; barotechnology; "dry mineralization" foam; single-stage. Production of foam concrete is a complex technological process that requires to take into account a significant number of parameters. For foam concrete mixtures, as well as for all dispersed systems, the instability of the cellular structure is characteristic. One of the main reasons is the high water content in the mixtures. It is due to the need to facilitate the process of porosity. The increased water-cement ratio of mixtures leads to an increase in the duration of aging products before Stripping, and, ultimately, reducing the strength of foam concrete. In the research laboratory of the don state technical University, the task was set and studies were conducted to assess the impact of the speed and duration of mixing of foam concrete mixture on the physical and mechanical characteristics of foam concrete-density, compressive strength, coefficient of structural quality. The highest coefficient of structural quality was recorded in foam concrete samples obtained at a mixing speed close to 1000 rpm and a mixing duration approximately equal to 4 min. The average density of foam concrete samples decreased with increasing speed and duration of mixing the mixture.

**Keywords:** cellular concrete; foam concrete; structural and thermal insulation foam concrete; density; strength; coefficient of structural quality; technological factors