

## КОМПАКТИРОВАНИЕ ПОРОШКОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ. ГИПЕРПРЕССОВАНИЕ

Ю.В. Килиянчук, В.Б. Петропавловская, В.В. Белов, В.И. Трофимов

© Килиянчук Ю.В., Петропавловская В.Б.,  
Белов В.В., Трофимов В.И., 2024

*Аннотация.* В статье представлен обзор литературы по технологии гиперпрессования. Изучено и описано влияние данного метода на физико-химические и физико-механические свойства материала.

*Ключевые слова:* гиперпрессование, кирпич, прочность, плотность, добавка, структура.

### **Введение**

Технология изготовления традиционных стеновых материалов, получаемых методом полусухого прессования с последующим обжигом (керамический кирпич) или автоклавированием (силикатный кирпич), связана с высоким расходом энергоносителей. Перспективным решением проблемы энерго- и ресурсосбережения является способ производства, который позволяет сократить или исключить тепловую обработку за счет увеличения сырцово-прочности, ускорить процесс формирования структуры искусственного камня [1]. Такой способ – гиперпрессование строительных материалов [1–5] – отличается повышенным давлением прессования полусухих пресс-порошков (свыше 30 МПа) [2, 5].

Целью работы являлось изучение способов повышения энергоэффективности и прочности прессованных строительных материалов.

### **Физико-химические предпосылки использования гиперпрессования в производстве строительных материалов**

Основная суть способа гиперпрессования состоит в том, что под высоким давлением происходит взаимодействие частиц вещества, связанное со снижением количества макропор в материале. При протекании данного процесса с поверхности частиц срываются оксидные пленки, образуются открытые ювенильные поверхности и когезии между ними.

В присутствии вяжущих веществ с высоким химическим сродством к веществу мелкодисперсных частиц (например, цемента) необходимые давление прессования и глубина помола резко уменьшаются [2].

Известно, что способ гиперпрессования позволяет получать материалы с более плотной структурой. Особенность данного способа заключается в использовании малоувлажненных (8...10 % по массе) цементно-минеральных сырьевых смесей и повышении давления

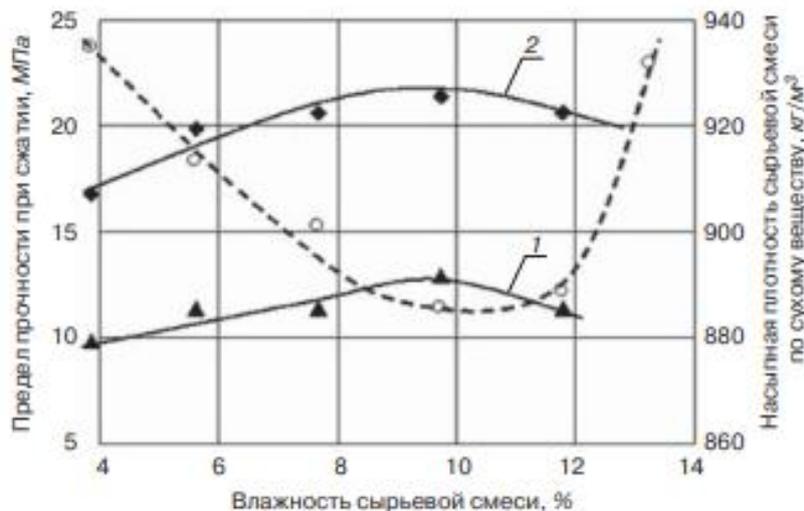
прессования сырца [3]. Гиперпрессованием увлажненной цементно-минеральной смеси были получены изделия, такие как гиперпрессованные кирпичи. Именно при давлении 40 МПа наблюдался максимальный прирост прочности изделий. В процессе гиперпрессования частицы сырьевой массы испытывают значительное взаимное трение, сцепляясь друг с другом на молекулярном уровне [2, 4, 5].

В момент приложения нагрузки возникают силы трения о стенки прессформы и между частицами твердой фазы, при этом не всегда удается достичь оптимального уплотнения по всей высоте изделия. При использовании специальных форм и увеличении продолжительности выдержки изделий под давлением возникающие напряжения могут не только не разрушать получаемую структуру, но и уплотнять ее [6].

При использовании технологии гиперпрессования большое значение приобретает подбор оптимальной гранулометрии заполнителя с целью достижения возможности плотной упаковки его зерен и уменьшения необходимого количества вяжущей части, а также снижения упругого расширения прессовки после снятия давления и исключения перепрессовочных трещин [1, 7]. Оптимизация гранулометрического состава смеси из условия наибольшей плотности упаковки может быть достигнута путем смешивания реальных сырьевых компонентов в оптимальном соотношении. Этот способ проверялся в технологии мелкоштучных бетонных изделий (кирпича) полусухого прессования на основе отсевов дробления известняка и цементной связки [1, 7].

Связь капиллярного структурообразования в сырьевой смеси и прочности готовых изделий основана на том, что при влажности максимального глобулирования, признаком которого является минимум насыпной плотности сырьевой смеси в пересчете на сухое вещество (рисунок), в результате действия капиллярных сил тонкодисперсные частицы цемента сосредоточиваются на поверхности грубодисперсных зерен песка и в зонах контакта последних, образуя ячеисто-глобулярную структуру. Эта структура смеси обуславливает наибольшую концентрацию вяжущего в зонах контакта заполнителя и, как следствие, повышенную прочность контактных зон и прессованного композита в целом [1].

С целью проверки этого предположения из увлажненных сырьевых смесей оптимальной гранулометрии в стальной форме прессовали образцы на лабораторном гидравлическом прессе в виде балочек размерами в плане 4 x 16 см и высотой около 4 см при давлении прессования, необходимом для уплотнения смеси до заданного объема (высоты формы) и получения образцов с одинаковой плотностью в пересчете на сухое вещество. Прессование образцов осуществляли при двукратном приложении нагрузки: 1-я ступень – около 25 %; 2-я ступень – 100 % максимального давления прессования [1].



Зависимость насыпной плотности сырьевой смеси по сухому веществу (пунктир) и прочность при сжатии образцов прессованного бетона состава № 2 при одинаковой плотности образцов (2,3 г/см<sup>3</sup>) по сухому веществу (сплошные линии) от влажности смеси:  
 1 – в возрасте образцов 3 сут; 2 – то же; 7 сут [1]

Экстремальный характер зависимостей прочности бетонных образцов при постоянной начальной пористости и одинаковом количестве цементирующего вещества от влажности сырьевой смеси (за возможным исключением наименьших значений влажности, при которых может ощущаться недостаток воды для гидратации цемента) объясняется влиянием капиллярного сцепления на структуру сырьевых смесей и полученных из них готовых изделий [1].

#### **Физико-механические свойства гиперпрессованных изделий**

Одним из наиболее популярных изделий, произведенных методом гиперспрессования, является кирпич.

Гиперпрессованный кирпич относится скорее к группе материалов под общим названием «искусственные камни» [4]. Кроме того, в последнее время все чаще можно услышать о таком строительном материале, как кирпич «Лего», который также относится к этой группе материалов [8].

Достоинствами данных изделий являются экологичность; высокие декоративные качества; высокая износостойчивость и долговечность, так как ввиду способа своего изготовления они не должны иметь сколов и трещин; долговечность; высокая прочность гиперпрессованных изделий на основе цементного раствора, что обеспечивает высокую прочность кладки и т.д. [4, 8].

В работе [9] были получены безобжиговые мелкоштучные стеновые изделия методом гиперспрессования с использованием асбестоцементных отходов (АЦО) и определены основные физико-механические характеристики изделий без использования портландцемента (табл. 1).

Таблица 1

Влияние давления на физико-механические свойства образцов на твердых АЦО без портландцемента [9]

№ образца	Давление прессования, МПа	Водо-твердое отношение	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии в возрасте 7 сут, МПа
1	20	0,120	1 720	6,5
2	40	0,110	1 820	11,4
3	30	0,100	1 880	14,4

Прикладываемое внешнее прессующее давление увеличивает сырцовую прочность, значительно ускоряет процесс формирования структуры цементного камня, оказывает влияние на кинетику физико-химических процессов, происходящих в цементном камне и кирпиче при твердении. При этом улучшаются физико-механические и гидрофизические характеристики кирпича в результате снижения количества макропор за счет отжатия воздуха, снижается расход вяжущего, уменьшаются энергетические затраты вследствие исключения тепловой обработки, появляется возможность использования некондиционных и техногенных продуктов. Процесс твердения при этом значительно ускоряется, и уже в 7-суточном возрасте прочность при сжатии образцов составляет 95–97 % от марочной прочности (табл. 2) [9].

Таблица 2

Физико-механические свойства образцов при расходе 5 % портландцемента [9]

№ образца	Давление прессования, МПа	Водо-твердое отношение	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии в возрасте 7 сут, МПа
1	20	0,130	1 860	15,3
2	40	0,125	1 980	16,4
3	30	0,120	2 000	16,9

Таким образом, при минимальном расходе цемента (5 %) давление прессования можно принять равным 20 МПа, тогда как для бесцементных образцов требуется давление от 30 МПа. Кроме того, прессование способствует образованию мелкокристаллической структуры цементного камня и в результате уплотнения цементного геля прессованием уменьшается количество микродефектов и внутренних напряжений [9].

В работе [2] рассмотрено влияние отсевов дробления на гиперпрессованные образцы. Составы образцов и результаты определения их физико-механических характеристик после тепловлажностной обработки представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытания гиперпрессованных образцов [2]

№ образца	Цемент, %	Отсев, %	Вода, %	Предел прочности на сжатие, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %
1	15	75	10	19,4	2 062	4,7
2	14,5	71	14,5	17,8	2 131	4,6
3	19	67	14	19,4	2 123	4,8
4	17	70	13	17,7	2 136	4,8

Данные табл. 3 показывают, что предел прочности при сжатии варьируется от 17,7 до 19,4 МПа, средняя плотность – от 2 060 до 2 136 кг/см<sup>3</sup>, а водопоглощение – от 4,6 до 4,8 %, что соответствует требованиям нормативно-технической документации, предъявляемым к данному виду изделий.

Таким образом, существует принципиальная возможность получения гиперпрессованных изделий марок М150-200 на основе отсевов дробления исследуемых горных пород, содержащих карбонат. Оптимальным в данном случае можно считать состав № 1: расход цемента – 15 %, отсев – 75 %, вода – 10 % [2].

Помимо определения плотности и прочности сырьевых образцов, в работе [10] исследовалось влияние гиперпрессования на процессы естественной сушки.

Гиперпрессование влияет на скорость испарения воды при сушке керамических изделий: с увеличением давления прессования скорость сушки увеличивается (табл. 4).

Таблица 4

Потери влаги при естественной сушке керамических изделий [10]

Показатели	Давление прессования, МПа					
	10	20	40	60	80	100
Формовочная влажность, %	10	10	9	9	8	8
Потери влаги при естественной сушке за 48 ч, %	15	19	40	46	68	91
Потери влаги при естественной сушке за 24 ч, %	8	10	33	42	64	90

Образцы, полученные при давлении прессования свыше 40 МПа, за двое суток теряют до 90 % влаги, в то время как образцы, изготовленные при давлении прессования 10 и 20 МПа, – 15 и 19 % соответственно [10].

### Заключение

Анализ данных источников показал, что метод гиперпрессования позволяет получать изделия высокого качества с использованием отходов

промышленности [2, 9, 10], при этом сохраняются физико-механические свойства.

Применение данного метода обеспечивает значительное снижение энергетических затрат. Кроме того, вследствие исключения тепловой обработки предоставляется возможность использования некондиционных и техногенных продуктов, какими являются отсеvy дробления. Метод гиперпрессования инвестиционно привлекателен, так как себестоимость гиперпрессованного кирпича снижается на 20–25 % по сравнению с силикатным кирпичом.

### **Библиографический список**

1. Белов В.В. Оптимизация зернового состава и влажности сырьевой смеси в технологии гиперпрессованного бетонного кирпича // Бетон и железобетон. 2021. № 5-6 (607-608). С. 44–47.

2. Леонтьев С.В., Шаманов В.А., Курзанов А.Д. Использование отсеvов дробления карбонатных горных пород для производства гиперпрессованных изделий // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2018. Т. 2. С. 286–293.

3. Береговой В.А., Басова М.А., Языкеев А.В. Утилизация отходов газобетона в производстве гиперпрессованных материалов // Вестник ПГУАС. Серия «Строительство, наука и образование». 2020. № 2 (11). С. 8–14.

4. Кирпич по технологии гиперпрессования / Ю.В. Сапрыгина [и др.] // Технические науки: современный взгляд на изучение актуальных проблем: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Н. Новгород: ООО «Ареал», 2017. Вып. 2. С. 36–39.

5. Зассеев А.А. Особенности изготовления гиперпрессованного кирпича на крупном производстве // Современный взгляд на науку и образование: сборник научных статей / науч. ред. А.С. Старун. М.: Перо, 2019. Ч. III. С. 91–94.

6. Петропавловская В.Б., Фишер Х.Б. Гиперпрессованные гипсовые структуры конденсационного твердения // Инновации и моделирование в строительном материаловедении / под ред. В.В. Белова. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2017. С. 95–105.

7. Николаенко А.К., Головина Е.А. Исследование механических и теплофизических свойств гиперпрессованного высоконаполненного дисперсными частицами полимербетона // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Барнаул: АлтГТУ, 2018. С. 327–330.

8. Мамонтов И.А., Рыбалкина А.В., Бабаскин Е.С. Кирпич «Лего»: анализ преимуществ и недостатков современного строительного материала // Теория и практика модернизации научной деятельности: сборник статей Международной научно-практической конференции / отв. ред. А.А. Сукиасян. Уфа: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2019. Т. 2. С. 69–72.

9. Щукина Е.Г., Зонхийев М.М. Исследование возможности получения безобжигового кирпича с использованием твердых асбестоцементных отходов // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2020. № 1 (76). С. 61–65.

10. Каддо М.Б., Розина В.Е. Перспективы применения гиперпрессования при производстве керамических изделий // Перспективы науки. 2019. № 10 (121). С. 41–43.

## COMPACTION OF POWDERS IN THE PRODUCTION OF BUILDING COMPOSITES. HYPERPRESSING

**Y.V. Kiliyanchuk, V.B. Petropavlovskaya, V.V. Belov, V.I. Trofimov**

***Abstract.** The article presents a review of the literature on hyperpressing technology. The influence of this method on the physico-chemical and physico-mechanical properties of the material has been studied and described.*

***Keywords:** hyperpressing, brick, strength, density, additive, structure.*

Об авторах:

КИЛИЯНЧУК Юрий Вадимович – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: psktstu@yandex.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

ТРОФИМОВ Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vitrofa@mail.ru

About the authors:

KILIYANCHUK Yuri Vadimovich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: psktstu@yandex.ru

PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

BELOV Vladimir Vladimirovich – Advisor to RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

**УДК 691.542**

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ, АРМИРОВАННЫХ ВОЛОКНАМИ, В СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ ДЛЯ РЕМОНТА КОНСТРУКЦИЙ**

**А.А. Лаптев, Е.В. Ткач**

© Лаптев А.А., Ткач Е.В., 2024

***Аннотация.** В настоящее время особое внимание уделяется состоянию искусственных сооружений, необходимости проведения ремонтных работ и предупреждения разрушения искусственных сооружений. Эти цели могут быть достигнуты посредством проектирования, разработки, испытаний, оптимизации, а также применения ремонтных материалов или составов для предотвращения разрушения искусственных сооружений, подвергающихся влиянию различных разрушающих факторов. В статье рассматривается сверхвысокоэффективный цементирующий композит UHPFRC, армированный волокнами. Проанализированы его преимущества, такие как прочность, долговечность, трещиностойкость и водонепроницаемость.*

***Ключевые слова:** ремонтные составы, модифицированный тяжелый бетон, фибробетон, композитный материал, прочность, долговечность, водонепроницаемость, UHPFRC, оптимизация состава, устойчивость искусственных сооружений.*