

**Keywords:** SIP-panel, panels made of polymer materials, strength, tests, transverse bending, maximum permissible load.

Об авторах:

СИЗОВ Юрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: uvsizov1961@yandex.ru

КУЛЯЕВ Павел Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: p.kuliaev@yandex.ru

About the authors:

SIZOV Yury Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: uvsizov1961@yandex.ru

KULYAEV Pavel Viktorovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: p.kuliaev@yandex.ru

**УДК 691.58**

## **К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ БЕТОНА**

**В.И. Трофимов, М.А. Смирнов, И.Е. Лакисов,  
А.Г. Смирнов, И.Д. Чурилин**

© Трофимов В.И., Смирнов М.А., Лакисов И.Е.,  
Смирнов А.Г., Чурилин И.Д., 2024

***Аннотация.** Рассмотрен вопрос повышения эффективности технологии получения легкого заполнителя бетона – заменителя керамзитового гравия на основе использования местных ресурсов: торфа и сапропеля. Разработаны основные технологии по изготовлению гранул повышенного сцепления одной формы и размеров, включающие новые оригинальные операции: приготовление двухкомпонентной органоминеральной смеси и формование экструзией многоветьевого крученого жгута, что позволяет отказаться от двух операций, используемых в аналогах: окатывания на тарельчатых грануляторах и грохочения.*

*Ключевые слова:* легкий заполнитель бетона, торф, сапрпель, керамзитовый гравий, технология изготовления.

Ведущее место в номенклатуре искусственных пористых заполнителей долгие годы занимал керамзитовый гравий, поскольку технология производства этого заполнителя с широким диапазоном полезных свойств была хорошо освоена, а сырье доступно. Последнее десятилетие отмечено понижением значимости данного заполнителя и закрытием ряда предприятий. Это происходило, прежде всего, по причине ограниченности запасов кондиционного керамзитового сырья, а также из-за снижения спроса на данный заполнитель. При производстве строительных материалов и изделий необходимо в каждом регионе ориентироваться на местную сырьевую базу и учитывать образующиеся и накопленные техногенные ресурсы. Тверская область, как и многие другие регионы России, имеет разнообразную сырьевую базу для производства строительных материалов, в частности заполнителей для бетонов.

В то же время были значительно ужесточены требования к теплозащите зданий и сооружений, в связи с чем резко возросла потребность в качественных, экологически чистых и пожаробезопасных, а также относительно дешевых теплоизоляционных материалах и изделиях, особенно на базе легких бетонов, в том числе керамзитобетона.

Одним из важных компонентов для изготовления изделий из керамзитобетона является керамзитовый гравий. Из известных легких заполнителей он наиболее широко применяется в производстве строительных изделий, однако технология его получения отличается повышенной сложностью и энергоемкостью. При его производстве используют такие сложные операции, как грануляция (окатывание гранул требуемой формы) и грохочение, предполагающее использование аппаратов для изготовления гранул заданных фракций, что снижает эффективность производства керамзитового гравия в целом.

Наиболее широкое применение получила технология гранулирования методом пластического формования с применением аппаратов по продавливанию массы сквозь перфорированный экран. Предварительно подготавливается пластичная масса из легкоплавкой глины. Затем выполняется окатывание полученных сырьевых гранул на тарельчатом грануляторе с последующей их подсушкой и обжигом. Однако получаемые при этом гранулы имеют различную форму и размеры, поэтому требуется выполнение дополнительной операции грохочения для выделения заданной фракции, что является недостатком используемой технологии (рис. 1).

Современная тенденция к расширению использования эффективных строительных материалов во многом связана с вовлечением все новых сырьевых источников, заменой кондиционных материалов на отходы производства. В частности, в технологии производства керамзитового

гравия происходит замена дорогостоящих материалов на отходы производства, такие как золошлаковая смесь. Выполненные исследования доказали возможность использования отходов производства как более доступных по цене органоминеральных материалов для получения заполнителей бетона.



Рис. 1. Гранулы керамзитового гравия

Известен способ получения пустотелого заполнителя на основе местного органического и минерального сырья, который включает следующие технологические операции: формование выгорающего ядра из торфа, покрытие его минеральной оболочкой и последующий обжиг. При этом формование ядра осуществляют методом окатывания в шаровидные гранулы – ядра, которые получают из фрезерного торфа на тарельчатом грануляторе с последующей их подсушкой и обжигом. Недостатком способа является сложность его реализации.

Способ получения легкого материала путем продавливания массы сквозь экран с последующим обжигом [2] также имеет недостаток, состоящий в сложности регулирования пористости и пустотности материала, что снижает эффективность использования данной технологии.

Известен способ изготовления керамзитового гравия, включающий приготовление керамической массы, формование гранул, нанесение на их поверхность слоя вулканического пепла толщиной 0,3–0,7 мм, сушку гранул до влажности не более 7 %, обжиг и охлаждение. Обожженный слой вулканического пепла повышает прочность сцепления полученного керамзитового гравия с цементным камнем [3]. Недостаток этого способа заключается в сложности нанесения дополнительного слоя из другого материала.

Целью данной статьи является разработка ускоренного и менее энергоемкого технологического процесса изготовления легкого пористого заполнителя бетона с получением гранул одной формы и размеров. При этом решается вопрос повышения эффективности технологии получения легкого пористого заполнителя бетона – керамзитового гравия на основе минерального и органического местного природного дешевого сырья: сапропеля и торфа. В частности, Тверская область богата торфяными и

сапропелевыми месторождениями, поэтому вместо глины предлагается использовать высокоминерализованный сапропель.

В основу предложенной технологии получения легкого заполнителя бетона положена идея формования гранул из торфо-сапропелевой смеси методом экструзии, без окатывания гранул и грохочения, что позволяет упростить процесс формования и повысить производительность труда. Это достигается тем, что в известном способе, включающем приготовление смеси, продавливание ее через перфорированный экран (рис. 2) с последующей нарезкой, сушкой и обжигом, смесь готовят из торфа и сапропеля в соотношении, например, один к пяти (1 : 5), формуют многоветьевой крученый жгут с пустотелой сердцевиной внутри или с заполненной сердцевиной с одновременным закручиванием жгута, нарезкой на гранулы (рис. 3), подсушкой и обжигом. По второму варианту отличием является приготовление двухкомпонентной смеси только из сапропеля разной зольности.



Рис. 2. Перфорированный экран



Рис. 3. Многоветьевая крученая гранула периодического профиля

Получение многоветьевых крученых гранул позволяет повысить их прочность и снизить вероятность разрушения, что особенно важно учитывать при выполнении операций по транспортированию, приготовлению смеси и формованию изделий. Разработка предназначена для получения гранулированного легкого заполнителя в виде крученых гранул с поверхностью периодического профиля непрерывным методом. Один из вариантов технологической линии представлен на рис. 4.

Технологическая линия по производству легкого заполнителя бетона состоит из формующей экструзионной головки с перфорированным экраном, закрепленной над конвейером. Смесь подают в головку по шлангу, при этом перфорированный экран может быть выполнен как с центральным отверстием, так и без него (в зависимости от того, будет ли он заполняться смесью). На конвейере смонтированы отрезные ножи и сушильный агрегат в виде электрического калорифера с вентилятором. Конвейер сообщается с питателем и обжиговой печью. Готовые гранулы, нарезанные ножами из жгута, после сушки и обжига ссыпаются в бункер-накопитель.

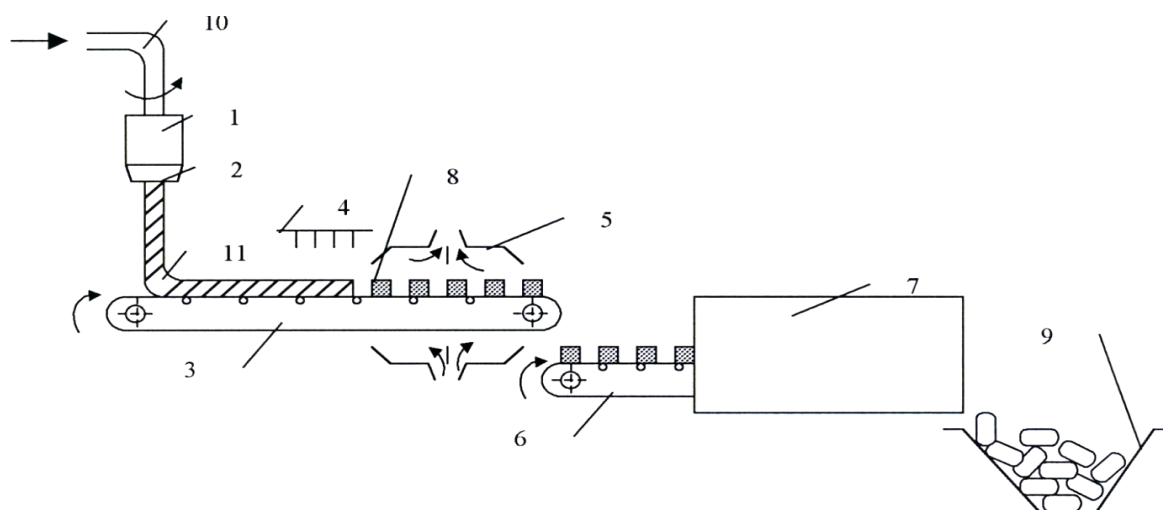


Рис. 4. Технологическая линия производства экструзионного керамзитового гравия: 1 – формующая экструзионная головка; 2 – перфорированный экран; 3 – конвейер; 4 – отрезные ножи, 5 – сушильный агрегат; 6 – питатель; 7 – печь для обжига; 8 – готовые гранулы; 9 – бункер-накопитель; 10 – подающий шланг, 11 – сформованный жгут

Способ может быть реализован следующим образом. По первому варианту в качестве компонентов смеси выбирают сапрпель, например, зольностью 80 %, и фрезерный торф со степенью разложения около 35 %. Смесь готовят в смесителе принудительного действия. Далее формируют многовитьеваый крученый жгут с пустотелой сердцевинкой внутри путем продавливания смеси через перфорированный экран, который поворачивается с заданной скоростью. При этом перед формированием крученого жгута к центральному отверстию экрана подводят шланг в одном случае без его заполнения смесью, в результате чего формируют крученый жгут с пустотелой сердцевинкой, а в другом случае с заполнением сердцевинки крученого жгута при подаче торфа или сапрпеля.

Полученный крученый жгут расстилают на конвейерную ленту, где он разрезается ножами на гранулы. Для подсушки и предотвращения слипания разрезанные гранулы обдувают горячим воздухом калорифера. После этого подсушенные гранулы с помощью питателя перемещают в обжиговую печь. В процессе обжига гранул находящийся в его ветвях торф выгорает, а сапрпелевые органические включения образуют дополнительные пустоты. Полученные высокопористые гранулы из печи ссыпают в приемный бункер.

По второму варианту технологическая цепочка остается прежней, однако смесь готовят только из сапрпеля зольностью 30 и 70 %. К центральной части перфорированного экрана подводят шланг для подачи сапрпеля зольностью 30 %. Материалом формования внешних ветвей

крученой гранулы может служить сапропель зольностью 70 %, который подают в головку со шнековым механизмом внутри. Приводя в движение шнек головки с одновременной подачей сапропеля зольностью 30 % по шлангу, продавливают смесь через перфорированный экран, который одновременно поворачивается, в результате чего получается многоветвевой крученый жгут с заполненной сердцевинной. Далее жгут расстилают на конвейерную ленту и разрезают ножами на гранулы. Разрезанные гранулы обдувают горячим воздухом калорифера (для их подсушки с целью предотвращения их совместного слипания). Подсушенные гранулы питателем перемещают в обжиговую печь. В процессе обжига гранул выгорает органическая часть сапропеля ветвей крученого жгута и сердцевинной, образуя пустоты. Из печи высокопористые гранулы ссыпают в приемный бункер.

Процесс получения крученых легких гранул был смоделирован в лабораторных условиях с использованием смеси сапропеля и торфа. Гранулы получали путем скручивания выдавливаемых нитей в виде жгута из трех связанных трубок с насадками с последующей нарезкой на гранулы, подсушкой и обжигом в муфельной печи. Визуальный осмотр полученных крученых гранул не выявил дефектов в виде трещин и сколов, что говорит о возможности использования предложенной технологии.

Основным преимуществом предложенной технологии по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами является возможность организовать более простой технологический процесс получения легкого заполнителя бетона – искусственного керамзитового гравия в виде гранул периодического профиля повышенного сцепления одной формы и размеров методом пластического экструзионного непрерывного формования на базе использования местного органоминерального сырья. Технология изготовления легких заполнителей упрощается за счет исключения конструктивно сложных формующих аппаратов (грануляторов), а также разделителей по крупности зернистых и кусковых материалов (грохотов) для получения заданных фракций заполнителей бетона. Это позволяет также повысить производительность труда, снизить энергоемкость процесса и уменьшить себестоимость продукции.

Эффективность способа обеспечивается за счет применения более простого и производительного метода экструзионного формования, а также за счет получения гранул с поверхностью повышенного сцепления – периодического профиля. При этом упрощается конструкция технологической линии, а следовательно, повышается надежность ее работы и снижается себестоимость продукции. Предложенная разработка может быть реализована на существующих предприятиях по производству керамзитового гравия, с выпуском новых легких гранулированных пористых заполнителей по упрощенной технологии и на базе использования более дешевого местного органоминерального сырья.

### **Библиографический список**

1. Способ получения пустотелого заполнителя: пат. 2081080 Рос. Федерация. № 94035220/03 / Гамаюнов С.Н.; заявл. 22.09.1994; опубл. 10.06.1997.
2. Способ изготовления керамзитового гравия: пат. Рос. Федерация. № 2012121095/03 / Щепочкина Ю.А.; заявл. 22.05.2012; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24.
3. Способ получения легкого материала: пат. 2142438 Рос. Федерация. № 98103218/03 / Трофимов В.И. Федосенко А.В., Осипов С.Ю.; заявл. 10.02.1997; опубл. 10.12.1999.

### **ON THE ISSUE OF IMPROVING EFFICIENCY TECHNOLOGIES FOR OBTAINING LIGHTWEIGHT CONCRETE FILLER**

**V.I. Trofimov, M.A. Smirnov, I.E. Lakisov, A.G. Smirnov, I.D. Churilin**

***Abstract.** The issue of increasing the efficiency of technology for obtaining a lightweight concrete filler – a substitute for expanded clay gravel based on the use of local resources: peat and sapropel is considered. The main technologies for the production of granules of increased adhesion of the same shape and size have been developed, including new original operations: preparation of a two-component organomineral mixture and extrusion of a multi-thread twisted bundle, which allows you to abandon two operations used in analogues: pelletizing on disc granulators and screening.*

***Keywords:** lightweight concrete filler, peat, sapropel, expanded clay gravel, manufacturing technology.*

Об авторах:

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

СМИРНОВ Матвей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

ЛАКИСОВ Илья Евгеньевич – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: lakiso1@bk.ru

СМИРНОВ Александр Геннадьевич – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской

государственный технический университет», Тверь. E-mail: smivvv321@gmail.com

ЧУРИЛИН Иван Дмитриевич – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: fir.man2018@yandex.ru

About the authors:

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

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

LAKISOV Ilya Evgenievich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: lakiso1@bk.ru

SMIRNOV Alexander Gennadievich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: smivvv321@gmail.com

CHURILIN Ivan Dmitrievich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: fir.man2018@yandex.ru

**УДК 691.3**

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАОЛИНА,  
ДОЛОМИТОВОГО ПОРОШКА, МИКРОКРЕМНЕЗЕМА,  
ПЕРЕРАБОТАННОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО  
ДОМЕННОГО ШЛАКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА  
ДЛЯ КОНСТРУКЦИИ ТОННЕЛЕЙ**

**Г.А. Шусев, Е.В. Ткач**

© Шусев Г.А., Ткач Е.В., 2024

*Аннотация.* В статье проанализированы положительные эффекты, возникающие при использовании в производстве бетона таких веществ, как каолин, доломитовый порошок, микрокремнезем, переработанный гранулированный доменный шлак, с точки зрения