

также приблизит состав материала ТСД к составу загружаемого в ВЦП шлама [8].

Для дальнейшей подготовки к прессованию ТСД дробятся на более мелкие фракции. Затем они поступают на пресс, где из них под давлением формируют блоки или гранулы из ТСД. В качестве связующего в таких блоках или гранулах выступает кроме глины также гипс (гидрат сульфата кальция), образованный из сернокислого кальция и воды. Поскольку тионовые бактерии за редким исключением являются аэробами, (не могут развиваться без кислорода воздуха) после прессования их развитие внутри блока прекращается. Прессование также исключает процессы аэробного гниения (удаление аэробных зон) и самовозгорания (уплотнение совместно с негорючими компонентами) в ТСД.

Поскольку глина и гипс как связующие обладает малой прочностью, разрушение блоков или гранул из ТСД на цементном заводе при загрузке их в ВЦП не потребует значительных энергетических затрат. Попадание гипса и остаточной серы в ВЦП не ухудшит качество получаемого цементного клинкера, поскольку при его производстве в шлам добавляются серосодержащие вещества [9].

Научная новизна

Итак, основная гипотеза нашего исследования – гипотеза о принципиальной возможности полного использования ТБО при производстве цемента. Анализ научной литературы и патентные исследования показали, что подобная проблема рассматривается впервые.

Достигнутые результаты:

- все компоненты ТБО, попав в состав ТСД, не повлияют на качество цемента;

- производства, в местах, где нет производства цемента, из ТБО микробиологически чистой, химически-нейтральной и пожаробезопасной топливно-сырьевой добавки (далее – ТСД), с последующей доставкой к местам использования в настоящее время возможно на базе уже имеющихся и апробированных на практике технологий.

При этом:

- для стерилизации ТБО предлагается применять технологию с использованием элементарной серы и тионовых бактерий;
- для нейтрализации ТБО предлагается применять строительные и промышленные отходы содержащие карбонаты;
- для обеспечения пожаробезопасности получаемой ТСД предлагается применять использование отходов, содержащих глину и прессование ТСД в брикеты и гранулы.

Выводы:

1. Все поставленные задачи решены. На настоящий момент существует принципиальная возможность полного использования ТБО при производстве цемента.

2. При этом ТБО могут загружать в ВЦП как напрямую (доставка измельченных ТБО самосвалами от ближайшего населенного пункта), так и в составе специально изготавливаемой ТСД, (доставка по железной дороге из ближайших регионов РФ).

3. При решении поставленных задач были использованы следующие методы инновационного консалтинга («наоборот», «вред в пользу», использование сильных окислителей»).

Список литературы

1. Патент РФ 2479622 С1 МПК С10L 5/46, С10L 5/08, В09В 3/00. Способ переработки твердых бытовых отходов в топливо для печей высокотемпературного синтеза цементного клинкера. – Опубликовано 20.04.2013. – Бюл. № 11.
2. <https://rykovodstvo.ru/other/141332/index.html? page= 12>.
3. https://znanio.ru/media/konspekt_leksij_po_teme_teplotehnicheskie_i_tehnologicheskije_zony_vraschayushejsya_peci-151437.
4. https://www.avtobeton.ru/mokrii_sposob_proizvodstva_cementa.html.
5. <https://lektsii.org/7-22696.html#:~:text=%D0%98%D0%B7%20%D1%85%D0%B8%D0%BC>.
6. Кайгородов О. Н. Измельчительная техника для подготовки альтернативного топлива / О. Н. Кайгородов // Цемент и его применение. – 2009. – № 1.
7. Патент РФ 1099937 А1 МПК А23К 3/03. Консервант для кормов. – Опубликовано 30.06. 1984. – Бюл. № 24.
8. <https://scicenter.online/geologiya-sssr-scicenter/gliny-suglinki-dlya-proizvodstva-164174.html>.
9. <https://cement.ucoz.ru/publ/21-1-0-70>.

© Р. И. Шаяхмедов, С. С. Евсеева

Ссылка для цитирования:

Шаяхмедов Р. И., Евсеева С. С. Полная переработка твердых бытовых отходов в сырье и топливо для производства цемента // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 33–35.

УДК 666.972.1

DOI 10.52684/2312-3702-2023-46-43-35-40

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ РЕЧНОГО ПЕСКА В АППАРАТЕ ВИХРЕВОГО СМЕШЕНИЯ

Б. Б. Утегенов, Р. И. Шаяхмедов

Утегенов Бахитжан Бахиткалиевич, старший преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: utegen76@mail.ru;



Шаяхмедов Растам Ирфагильевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: rastams@mail.ru

Цель исследования – определение принципиальной возможности использования аппарата вихревого смешения для дезинтеграции отдельных фракций речного песка в процессе приближения его гранулометрического состава к оптимальному. Методология исследования – методы и приемы инновационного консалтинга, практический эксперимент. Достигнутые результаты: аппарат вихревого смешения может применяться для обработки отдельных фракций речного песка в процессе приближения его гранулометрического состава к оптимальному; по результатам проведенных экспериментов по дезинтеграции фракции 0,315 абсолютное отклонение фактического гранулометрического состава от оптимального сократилось вдвое; при этом оптимальная степень дезинтеграции фракции 0,315 составила 33,1 %.

Ключевые слова: оптимальный гранулометрический состав песка, дезинтеграция отдельных фракций песка, аппарат вихревого смешения, рабочая камера, рабочие игольчатые тела.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL DEGREE OF DISINTEGRATION OF RIVER SAND IN THE VORTEX MIXING APPARATUS

B. B. Utegenov, R. I. Shayakhmedov

Utegenov Bakhitzhan Bakhitkalievich, senior lecturer of the Department of Industrial and civil engineering, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation; e-mail: utegen76@mail.ru;

Shayakhmedov Rastam Irfagilyevich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Expertise, Operation and Real Estate Management, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation; e-mail: rastams@mail.ru

The purpose of the study is to determine the principal possibility of using a vortex mixing apparatus for the disintegration of individual fractions of river sand in the process of approaching its granulometric composition to the optimal one. Research methodology – methods and techniques of innovative consulting, practical experiment. Achieved results: the vortex mixing apparatus can be used to process individual fractions of river sand in the process of approaching its granulometric composition to the optimal one; according to the results of the conducted experiments on the disintegration of the 0.315 fraction, the absolute deviation of the actual granulometric composition from the optimal one was halved; at the same time, the optimal degree of disintegration of the 0.315 fraction was 33.1 %.

Keywords: optimal granulometric composition of sand, disintegration of individual sand fractions, vortex mixing apparatus, working chamber, working needle bodies.

Актуальность

При оптимальном сочетании крупных, средних и мелких зерен речного песка, используемого для изготовления бетонных смесей, объем пустот уменьшается на 30–35 %. Это уменьшает количество центров разрушения в готовом бетоне [1] и повышает его прочность. К сожалению, на практике реальный гранулометрический (зерновой)

состав песка весьма далек от оптимального (табл. 1). По данным этой таблицы наибольшие отличия реального зернового состава от оптимального наблюдаются по фракциям 0,63 (нехватка 14,5 %) 0,315 (превышение 33,2 %) и 0,16 (нехватка 14,4 %).

Таблица 1

Гранулометрический состав речного песка, используемого для изготовления бетонных смесей в лаборатории вихревого смешения АГАСУ

Наименование фракции	Размер фракции от и до (мм)	Вес фракции, кг	Фактический весовой состав, %	Остаток на сите %	Оптимальный остаток на сите [2]	Оптимальный весовой состав, %
5	5-10	3	2,1	2,1	0	0
0,63	0,53-5	45	31,5	33,6	45	45
0,315	0,315-0,63	90	63,2	96,8	75	30
0,16	0,16-0,315	0,5	0,4	97,2	90	15
Менее 0,16	0-0,16	4	2,8	100	100	10
Всего	-	142,5	100	-	-	100

Проблема решается дроблением крупных фракций на более мелкие с попутной механической активацией песка. Это приносит добавочную пользу, поскольку механическая активация песка перед затворением бетонных смесей повышает прочность бетона [3]. Например, теоретически, нехватка фракции 0,63 могла бы быть восполнена дроблением фракции 5. Однако содержание фракции 5 в реальном составе исходной песчаной смеси явно недостаточно (всего 2,1 %), к тому же ее минеральный состав далек от идеального, поскольку содержит большую примесь

карбонатов. Поэтому нехватку фракции 0,63 придется восполнять другими методами (использование заменителей песка не уступающих ему по прочности и адгезии к водоцементной смеси).

Нехватку фракции 0,16 можно восполнить дроблением фракции 0,315, доля которой в реальном зерновом составе избыточна. Трудность здесь состоит в том, что с уменьшением размера зерна песка увеличиваются энергетические затраты на его дробление. Это происходит вследствие того, что крупные зерна – всегда конгломерат из сплава

кварца, который как известно, является трехмерным полимером двуокиси кремния, с менее прочными включениями (например, тугоплавкая окись железа, карбонаты, глина). При дроблении крупных зерен линия разлома всегда проходит по этим «слабым местам», вследствие чего они первыми выпадают в наиболее мелкие фракции («пыль» или фракция «менее 0,16»). Поэтому, чем мельче зерно песка, тем меньше в нем содержится центров разрушения на единицу объема и тем оно больше сопротивляется разрушающим нагрузкам [4]. Именно этим объясняется нехватка фракции 0,16 в реальном зерновом составе (наибольшее сопротивление к различным разрушающим воздействиям). Нехватка фракций 5 и 0,63 объясняется характером источника сырья (речной песок).

Наиболее распространенным способом дробления песка в настоящее время является его перемалывание в механических и аэродинамических мельницах [5]. В них зерна песка разрушаются с использованием динамических нагрузок на сжатие. А что если использовать прием инновационного консалтинга [6–11] «наоборот»? То есть, попробовать использовать нагрузки на растяжение, которые гораздо успешнее разрушают любой объект? Например, для кварца (самая прочная составляющая песчаного зерна) предел прочности на сжатие составляет 1100 МПа, а на растяжение 48,3 МПа. То есть затраты энергии на разрушение должны сократиться в 23 раза.

При воздействии электрического разряда на минеральные конгломераты, содержащие в своем составе токопроводящие вещества, последние или мгновенно превращаются в пар (минерализованная вода), взрывающий (прием инновационного консалтинга «фазовый переход») эти конгломераты изнутри, или просто расширяются (окись железа), образуя новые трещины (прием инновационного консалтинга «тепловое расширение»). Именно так работает аппарат вихревого смешения [12–14] (далее АВС) издавна используемый для разрушения объектов повышенной прочности.

Цель исследования – определение принципиальной возможности использования АВС для дезинтеграции отдельных фракций речного песка в процессе приближения его гранулометрического состава к оптимальному.

Для достижения этой цели проведем следующий эксперимент (рис. 1, 2):

- в рабочую камеру (далее – РК) АВС в определенном количестве засыпаются зерна песка фракции 0,315;
- затем в РК засыпаются рабочие игольчатые тела (далее – РИТ);
- АВС включается;
- под действием вращающегося электромагнитного поля РИТ начинают вращаться, при этом между иглами при их приближении и соударении возникают мощные электрические разряды, разрушающие зерна песка;
- под действием РИТ зерна песка также начинают вращаться, попадая под действие разрушающих электрических разрядов:

- по истечению времени обработки АВС включается, песок высыпается из РК, с помощью постоянного магнита извлекаются РИТ;
- песок с помощью контрольных сит разделяется на фракции 0,315, 0,16 и менее 0,16.



Рис. 1. Аппарат вихревого смешения и рабочая камера

Задачи исследования

Для успешного протекания данного процесса необходимо предварительно определиться с четырьмя параметрами:

- максимальная степень загрузки РК фракцией 0,315;
- время обработки фракции 0,315 в АВС;
- количество РИТ, вносимых в РК (при недостатке РИТ уменьшается производительность АВС, при избытке – превышает допустимая степень заполнения РК);
- оптимальная степень заполнения РК фракцией 0,315 (при недостатке фракции уменьшается производительность АВС, при избытке – уменьшается степень ее обработки).

Наметим пути решения этих задач.

Объем РК АВС, используемого в эксперименте, – 3600 см³. Максимальная степень заполнения РК обрабатываемым веществом при обработке твердых материалов 1/3 от общего объема (условие вращения игл). Это в нашем случае составит $3600 : 3 = 1200$ см³. При плотности речного песка 1,5 г/см³ вес максимально допустимого количества речного песка, загружаемого в РК составит $1200 \times 1,5 = 1,8$ кг. Это предел. Для безопасной работы АВС в качестве стартового эксперимента возьмем 2/3 от этого количества, а именно 1,2 кг. Такова максимальная экспериментальная загрузка исходной фракции в РК.

При диаметре рабочей зоны РК в 120 мм потребляемая мощность аппарата составит 3,5 квт × час при полной загрузке. При помоле песка механическими дезинтеграторами удельное потребление электроэнергии составляет 38,8 квт × час на тонну [15]. При условии, что удельное потребление электроэнергии в АВС должно быть, как минимум, в три раза меньше, чем на механических дезинтеграторах, за час на АВС должно быть дезинтегрировано: $(3,5 \times 3) / 38,8 = 0,2706$ т или 270,6 кг. То есть в секунду через АВС должно проходить $270,6 / 3600 = 0,075$ кг = 75 гр. песка.

Полная загрузка РК у нас 1200 гр. То есть обрабатываться такое количество должно $1200 / 75 = 16$ секунд. Это время обработки фракции 0,315 в АВС. При уменьшении степени заполнения РК время обработки уменьшаться не будет, поскольку нагрузка на АВС будет уменьшаться пропорционально уменьшению степени заполнения РК так же, как и

расход электроэнергии. Но при этом будет уменьшаться производительность обработки.

Концентрацию РИТ в РК определим исходя из общего объема РК (3600 см³) и длины РИТ (2 см). Представим себе, что вращающаяся вокруг центра тяжести РИТ равномерно размазана по сфере радиусом $2/2 = 1$ см. Тогда объем этой сферы будет равным:

$$4/3 \times \pi \times r^3 = 1,333 \times 3,143 \times 1 = 4,19 \text{ см}^3.$$

В общем объеме РК должно поместиться таких сфер, соприкасающихся в одной точке: $3600 \times 0,523 / 4,19 = 449$ шт.

Для того чтобы вероятность соударения вращающихся внутри соседних сфер РИТ повысились центры этих сфер должны сблизиться (перекрытие сфер). При сокращении межцентрового расстояния до размера радиуса вращения (1 см) коэффициент перекрытия двух близкорасположенных сфер станет максимальным. Дальнейшее сближение приведет к многократному перекрытию, в котором будут участвовать другие близкорасположенные сферы, а это увеличит вероятность сцепления всех РИТ в один плохо вращающийся ком, в котором разряды будут происходить только между концами игл и стенками РК.

При коэффициенте перекрытия 2 количество РИТ (вращающихся игл) удвоится. Общее количество РИТ в РК при этом составит $449 \times 2 = 898$.

Объем каждого РИТ определим, как объем цилиндра с радиусом 0,5 мм (половина толщины) и длиной 20 мм:

$$3,143 \times 0,5 \times 0,5 \times 20 = 15,7 \text{ мм}^3 = 0,0157 \text{ см}^3.$$

Общий объем РИТ составит:

$$0,0157 \times 898 = 14,1 \text{ см}^3.$$

Общий вес РИТ при плотности феррита 5,3 гр/см³ составит: $14,1 \times 5,3 = 75,0$ гр. Это степень концентрации РИТ в РК.

Для определения оптимальной степени заполнения РК фракцией 0,315 будем пошагово равномерно уменьшать полную загрузку РК (1, 2 кг) по принципу геометрической прогрессии: 1200 гр – 600 гр – 300 гр – 150 гр – 75 гр (такая шкала позволяет включить в эксперимент большой диапазон физической величины). Попутно будем с помощью контрольных сит и весов производить замеры, чтобы определить насколько продвинулся процесс дезинтеграции исходной фракции при уменьшении степени заполнения РК (табл. 2).

Анализ данных таблицы 2 приводит к следующим выводам:

- по мере увеличения степени заполнения РК фракцией 0,315 степень ее дезинтеграции в АВС на более мелкие фракции (фракция 0,16 и фракция «меньше 0,16») падает с 53,1 до 33,1 %;
- доля получаемой вследствие дезинтеграции фракции 0,16 падает с 43,5 до 29,6 %;
- производительность АВС при этом падает в 16 раз;
- пропорционально падает расход электроэнергии.

Таблица 2

Зависимость степени дезинтеграции фракции 0,315 в АВС от степени заполнения РК

Количество загружаемой в РК фракции 0,315, гр.	Время обработки в АВС, сек.	Результат дезинтеграции						Производительность, кг/смену	Расход электроэнергии, квт × смену
		Фракция 0,315		Фракция 0,16		Фракция меньше 0,16			
		гр.	%	гр.	%	гр.	%		
1200 (1275)*	16	797,0	66,9	354	29,6	41,0	3,5	2160	28,0
600 (675)	16	354,0	59,2	218,5	36,6	25,0	4,2	1080	14,0
300 (375)	16	157,0	52,3	124,0	41,3	19,0	6,4	530	7,0
150 (225)	16	77,0	51,2	63,0	41,8	10,5	7,0	270	3,5
75 (150)	16	34,5	46,9	32,0	43,5	7,0	9,6	135	1,75

Примечание: (*) - совместный вес загружаемых в РК фракции 0,315 и РИТ, грамм.

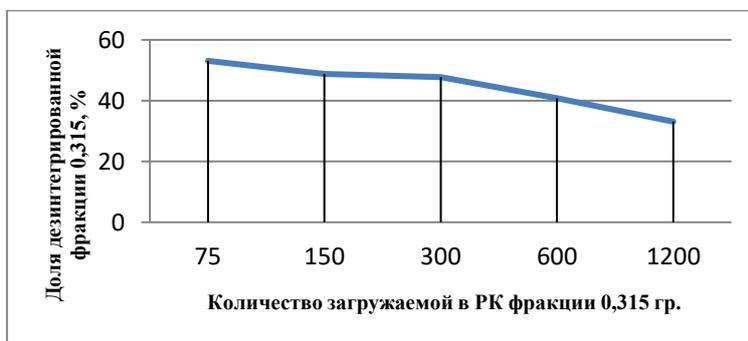


Рис. 3. Зависимость степени дезинтеграции от степени загрузки РК

Как видно из рисунка 3 при повышении степени заполнения РК:

- вырастает производительность АВС;
- снижается степень дезинтеграции фракции 0,315.

Данное противоречие решается с помощью приема инновационного консалтинга «местное качество», который учитывает, что нужна не полная дезинтеграция фракции 0,315, а дезинтеграция, в наибольшей степени приближающая состав к оптимальному. По данным таблицы 3 видно, что полная

дезинтеграция фракции 0,315 в более мелкие фракции резко увеличит отклонение от оптимального. А при степени дезинтеграции в 33,1 % (полная загрузка АВС с наивысшей производительностью) состав данной фракции в наибольшей приближается к оптимальному. Дальнейшее увеличение степени дезинтеграции будет уже увеличивать отклонение, поскольку доля фракции 0,16 уже превысила оптимальную и будет только расти.

Научная новизна

Итак, основной гипотезой нашего исследования будет гипотеза о существовании оптимальной степени дезинтеграции отдельных фракций речного песка на более мелкие фракции в АВС, обеспечивающей наибольшее приближение гранулометрического состава песка к оптимальному. Подобная гипотеза рассматривается впервые. Экспериментальная проверка данной гипотезы подтвердила ее правильность (табл. 4).

Достигнутые результаты:

- аппарат вихревого смешения может применяться для обработки отдельных фракций речного

песка в процессе приближения его гранулометрического состава к оптимальному;

- по результатам проведенных экспериментов по дезинтеграции фракции 0,315 абсолютное отклонение фактического гранулометрического состава от оптимального сократилось вдвое (табл. 4);
- при этом оптимальная степень дезинтеграции фракции 0,315 составила 33,1 %.

При этом поставленные в исследовании задачи были решены следующим образом:

- максимальная степень загрузки РК фракцией 0,315 определена исходя из условий безопасной работы АВС;
 - время обработки фракции 0,315 в АВС определено исходя из необходимости удельного сокращения потребления электроэнергии;
 - количество РИТ, вносимых в РК, определено исходя из условия сохранения возможности соударения отдельных РИТ;
- степень заполнения РК фракцией 0,315 определена на базе критерия достижения оптимального гранулометрического состава.

Таблица 3

Определение изменения состава в части мелких фракций при полной загрузке в РК (1200 гр.) фракцией 0,315

Наименование фракции	Начальный фактический весовой состав, %	Оптимальный весовой состав, %	Дезинтегрируемая часть, %	Результаты дезинтеграции, %	Результаты дезинтеграции с учетом начального состава, %
5	2,1	0	-	-	2,1
0,613	31,5	45	-	-	31,5
0,315	63,2	30	63,2	42,29	42,29
0,16	0,4	15	-	18,70	19,1
Менее 0,16	2,8	10	-	2,21	5,01
Всего	100,0	100,0	63,2	63,2	100,0

Таблица 4

Приближение гранулометрического состава речного песка к оптимальному при полной загрузке РК АВС

Наименование фракции	Начальный фактический весовой состав, %	Оптимальный весовой состав, %	Абсолютное отклонение от оптимального состава, до дезинтеграции, %	Результаты дезинтеграции с учетом начального состава, %	Абсолютное отклонение от оптимального состава, после дезинтеграции, %
5	2,1	0	2,1	2,1	2,1
0,613	31,5	45	13,5	31,5	13,5
0,315	63,2	30	33,2	42,29	12,29
0,16	0,4	15	14,6	19,1	4,1
Менее 0,16	2,8	10	7,2	5,01	4,99
Всего	100,0	100,0	70,6	100,0	36,98



Рис. 4. Вертикальный пневматический классификатор



Рис. 5. Центробежный пневматический классификатор

Выводы:

- гипотеза о существовании оптимальной степени дезинтеграции отдельных фракций речного песка в АВС на более мелкие обеспечивающей наибольшее приближение гранулометрического

состава песка к оптимальному, получила экспериментальное подтверждение;

- данную степень необходимо подбирать индивидуально, исходя из исходного фактического гранулометрического состава и технических характеристик применяемого АВС.

Перспективные направления дальнейших работ. При создании опытной промышленной установки порционную схему загрузки АВС необходимо будет заменить на проточную. При этом:

- максимальная степень загрузки РК будет определяться количеством перерабатываемого материала проходящего через створ аппарата за время обработки фракции;
- время обработки (движения материала внутри проточной РК от входа до выхода) при этом останется прежним;
- количество РИТ, вносимых в проточную РК, останется прежним (основная масса РИТ будет удерживаться внутри АВС вращающимся магнитным полем, а отдельные РИТ, выносимые вместе с переработанным материалом, будут улавливаться магнитным сепаратором и вновь отправляться в проточную РК вместе с материалом, поступающим в переработку);
- степень заполнения РК останется прежней.

Некоторую проблему будет представлять выделение из общей массы песка фракций, подлежащих переработке в АВС. Использованная в лабораторных опытах механическая схема разделения (просеивание) не годится для промышленных масштабов, поскольку разделение на фракции мелких материалов посредством механической классификации приводит к быстрому забиванию ячеек сит, что ухудшает качество продукта и снижает производительность грохотов [16].

Поэтому при создании опытно-промышленной установки АВС необходимо будет дополнить пневматическим или центробежным классификатором (рис. 4 и 5).

Это приведет к дополнительным расходам электроэнергии, которые можно уменьшить, предварительно отделив наиболее крупные фракции песка грохочением. То есть необходимо будет найти оптимально сочетание предварительной (механической) и основной (пневматической и центробежной) классификации.

Список литературы

1. <https://www.arhplan.ru/technology/quality/kontrol-kachestva-zapolniteley-dlya-betonov-i-rastvorov>.
2. https://studopedia.net/6_107667_rekomenduemie-sostavi-krupnogo-zapolnitelya.html.
3. <https://litebeton.ru/statya/pomol-peska-dlya-chego-neobhodim-vidy-melnic>.
4. <https://mydocx.ru/8-92498.html>.
5. <https://litebeton.ru/statya/pomol-peska-dlya-chego-neobhodim-vidy-melnic>.
6. Шаяхмедов Р. И. Основы научных исследований. Мнемотехника и приемы инновационного консалтинга / Р. И. Шаяхмедов. – Астрахань : АГАСУ, 2020. – 100 с.
7. Шаяхмедов Р. И. «Знать – уметь – владеть» – «три сосны» при составлении тестов для фонда оценочных средств и как не заблудиться в них. Компас от инновационного консалтинга / Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2018. – № 1. – С. 16–19.
8. Шаяхмедов Р. И. Игра в скорлупки или использование пневмоконструкций в качестве динамического элемента зданий / Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2016. – № 4. – С. 27–31.
9. Шаяхмедов Р. И. Улыбка чеширского kota или использование пневматических конструкций в качестве основного элемента ветроэнергетической установки / Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2017. – № 1. – С. 30–35.
10. Шаяхмедов Р. И. Прием наоборот или использование твердых бытовых отходов для производства строительных материалов методом доменного пиролиза / Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2017. – № 3. – С. 25–30.
11. Купчикова Н. В. Экспериментальные исследования с ложными ограничениями при разработке способа возведения инъекционной сваи / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2017. – № 3. – С. 58–62.
12. Утегенов Б. Б. Промывка песка для бетонной смеси с использованием поверхностно-активных веществ в аппарате вихревого смешения / Б. Б. Утегенов, Р. И. Шаяхмедов, А. И. Кокарев // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3. – С. 43–47.
13. Евсеева С. С. Методика определения оптимальной доли пиритной добавки при получении сероцемента в аппарате вихревого смешения / С. С. Евсеева, Р. И. Шаяхмедов // Перспективы социально-экономического развития стран и регионов : материалы XIV Международной практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. – Астрахань : АГАСУ, 2020. – С. 274–278.
14. Утегенов В. В. К вопросу о долговечности серного асфальтобетона или предварительная оценка увеличения срока службы дорожного полотна при замене асфальта на сероасфальт / В. В. Утегенов, Р. И. Шаяхмедов // Перспективы развития строительного комплекса : материалы VII Международной практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. – Астрахань : АИСИ, 2013. – Т. I. – С. 19–23.
15. <https://www.kvarcpostavka.ru/catalog/quartz-sand/water-treatment/round-sand-water-preparation-10-20/>.
16. https://studbooks.net/2492183/tovarovedenie/sovremennye_konstruksii_klassifikatorov_sypuchih_materialov.

© Б. Б. Утегенов, Р. И. Шаяхмедов

Ссылка для цитирования:

Утегенов Б. Б., Шаяхмедов Р. И. Определение оптимальной степени дезинтеграции речного песка в аппарате вихревого смешения // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУАОВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 35–40.