

Препринт

Статья опубликована: Карпенко Д. Н., Савчук Д. В. Уплотняемость сухого кварцевого песка в зависимости от величины фракции при различных способах уплотнения // Литейщик России. – 2015. – № 12. – С. 30–33.

УПЛОТНЯЕМОСТЬ СУХОГО КВАРЦЕВОГО ПЕСКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ФРАКЦИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ УПЛОТНЕНИЯ

Карпенко Денис Николаевич

*Россия, Москва, Московский государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана (МГТУ им. Н. Э. Баумана)
ассистент кафедры «Литейные технологии»*

karpenko_dn@bmstu.ru

Савчук Дмитрий Валерьевич

*Россия, Московская область, г. Балашиха, Муниципальное бюджетное
общеобразовательное учреждение «Гимназия № 1»
ученик 11В класса*

УДК 621.742.42

В работе выполнено экспериментальное исследование уплотняемости и конечной пористости сухого кварцевого песка в зависимости от величины фракции и способа уплотнения. В частности, было рассмотрено три способа уплотнения: виброуплотнение, уплотнение на копре и прессование. Полученные результаты свидетельствуют о том, что уплотняемость и пористость могут зависеть от величины фракции, то есть среднего размера частиц, а также показывают отличие по этим характеристикам «чистых» фракций и исходного песка. Значения пористости хорошо согласуются с известными данными, а результаты по виброуплотняемости различных фракций являются существенно новым научным результатом.

Ключевые слова: литье по газифицируемым моделям, гранулометрический анализ, кварцевый песок, уплотняемость, виброуплотняемость.

In this work, the experimental investigation of compression ratio and eventual porosity dependence on particle size and compaction way was performed for dry silica sand. Particularly three compaction ways was considered is vibrocompaction, compaction by ram engine and pressing. The findings indicate that compression ratio and porosity would depend on average particle size as well as that there is distinction in these characteristics between “pure” fraction and base grain-size composition. Porosity value is agreement with common knowledge and empirical vibrocompactibility results for different sand fractions is most recent scientific knowledge.

Keywords: lost-foam casting, grain-size analysis, silica sand, compression ratio, vibrocompactibility.

Данная работа выполнена в рамках Олимпиады школьников «Шаг в будущее».

Одним из важнейших технологических свойств формовочной смеси является уплотняемость – способность смеси изменять свой объем под действием динамической

нагрузки. Однако если речь идет о литье по газифицируемым моделям, при котором форма изготавливается, как правило, из сухого кварцевого песка посредством виброуплотнения, свойство уплотняемости следует понимать несколько шире: в этом случае можно говорить о виброуплотняемости. Вообще же для одного и того же материала можно говорить о разных «уплотняемостях» в зависимости от того, какая прикладывается динамическая нагрузка. Так, при стандартном определении уплотняемости в качестве таковой выступают три удара копра.

Другой важной характеристикой песчаного массива является его пористость ε . Именно она определяет конечную плотность формы из сухого песка. Пористость отражает структуру песчаного массива и, по сути, является геометрической характеристикой. Ее можно определить из плотности:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}, \quad (1)$$

где ρ_d – плотность массива (кажущаяся);
 ρ_s – плотность материала частиц (кварц).

Знание обеих характеристик – и уплотняемости, и конечной пористости – необходимо для правильного проектирования технологии изготовления форм из сухого песка. Еще более интересная задача – установление зависимости этих характеристик от величины фракции.

К сожалению, в литературных источниках не удалось найти каких-либо данных по исследованию этого вопроса. Тем не менее, нам удалось обнаружить несколько важных результатов похожих исследований.

Например, в книге К. Н. Карлова по формовочным материалам [1] приведены данные по уплотнению песка разных фракций на стандартном копре. В качестве образца бралась навеска песка массой 150 г и помещалась в стандартную гильзу диаметром 50 мм. При этом исследовался песок окатанной и остроугольной формы. После трех ударов копра определялась высота столба. Зная размеры гильзы, массу навески и плотность кварца, по данным К. Н. Карлова, с учетом формулы (1), можно определить пористость полученных образцов в зависимости от их высоты:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} = 1 - \frac{4 \cdot 1000 \cdot m_n}{\pi \cdot d_c^2 \cdot h_n \cdot \rho_s} \approx 1 - \frac{28,8}{h_n}, \quad (2)$$

где $m_n = 0,15$ кг – масса навески;
 $d_c = 0,05$ м – диаметр гильзы;
 $\rho_s = 2650$ кг/м³ – плотность кварца;

h_n – экспериментальная высота образца, мм.

Данные К. Н. Карлова с пересчетом по формуле (2) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Высота столба песка и пористость в опытах К. Н. Карлова [1]

Сито №*		40	70	100	140	200	270	–270
Размер ячеек, мм		0,42	0,21	0,149	0,105	0,074	0,053	
окатанные	Высота образца h_n , мм	48,6	47,8	49,8	50,6	51,8	52,1	50,8
	Расчетная пористость	0,41	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,43
остроугольные	Высота образца h_n , мм	53,8	54,8	55,6	57,6	59,0	59,0	60,5
	Расчетная пористость	0,46	0,47	0,48	0,50	0,51	0,51	0,52

Примечание: в работе К. Н. Карлова использовалась система сит по американскому стандарту, которая отличается от российской [2].

Более современные данные по уплотнению песка можно найти в монографии по литью по газифицируемым моделям [3]. В частности там приведены данные по максимальной и минимальной пористости при различных способах уплотнения. Показатели пористости приведены для трех типов песков (см. таблицу 2). Там же приведены данные по виброуплотняемости этих песков.

Таблица 2. Пористость песков при различных способах уплотнения [3]

Песок	Пористость при статическом уплотнении		Пористость при виброуплотнении	
	максимальная	минимальная	максимальная	минимальная
Гусаровский	0,82	0,64	0,82	0,54
Ореховский	0,82	0,62	0,82	0,56
Часов-ярский	0,89	0,66	0,89	0,61

Целью нашей работы являлось экспериментальное определение уплотняемости и конечной пористости для различных фракций сухого кварцевого песка при различных способах воздействия: виброуплотнение, уплотнение на копре и прессование. Таким образом, мы планировали повторить и расширить эксперимент К. Н. Карлова, в первую очередь за счет исследования виброуплотняемости.

Поставленная задача решалась в два этапа.

На предварительном этапе нужно было выделить «чистые» фракции кварцевого песка. С этой целью был проведен рассев на стандартном наборе сит по ГОСТ 29234.3–91 [4]. Единственным отличием использованной методики отсева от стандартной являлось то, что для увеличения производительности масса навески была уве-

личена до 200 г. Параллельно с этим проводился гранулометрический анализ каждой навески песка и составлялся соответствующий протокол. После взвешивания остатки с каждого сита сортировались по маркированным накопительным контейнерам. Целью предварительного этапа являлось получение по крайней мере 100 г песка каждой из основных фракций.

Для проведения эксперимента использовался песок формовочный марки $2K_2O_1O_2$ по ГОСТ 2138–91 производства ОАО «Люберецкий горнообогатительный комбинат», г. Котельники Московской области. В течение периода проведения экспериментов был использован песок трех разных партий.

По данным предварительного гранулометрического анализа было установлено, что за отведенное на исследование время возможно выделить в необходимом количестве четыре основные фракции: 01, 016, 02 и 0315. Содержание остальных фракций в песке ничтожно мало, поэтому они были разделены на две группы: крупная и мелкая фракции, – которые не принимали участия в дальнейшем исследовании.

Предварительный этап состоял из нескольких серий экспериментов по рассеву, поскольку использовались три партии формовочного песка. Результаты гранулометрического анализа показывают высокую стабильность использованного песка. Для всех трех партий гранулометрическая кривая практически идентична. Средний размер зерна лежит в пределах 0,21–0,22 мм с коэффициентом однородности порядка 87. Типичная гранулометрическая кривая приведена на рис. 1.

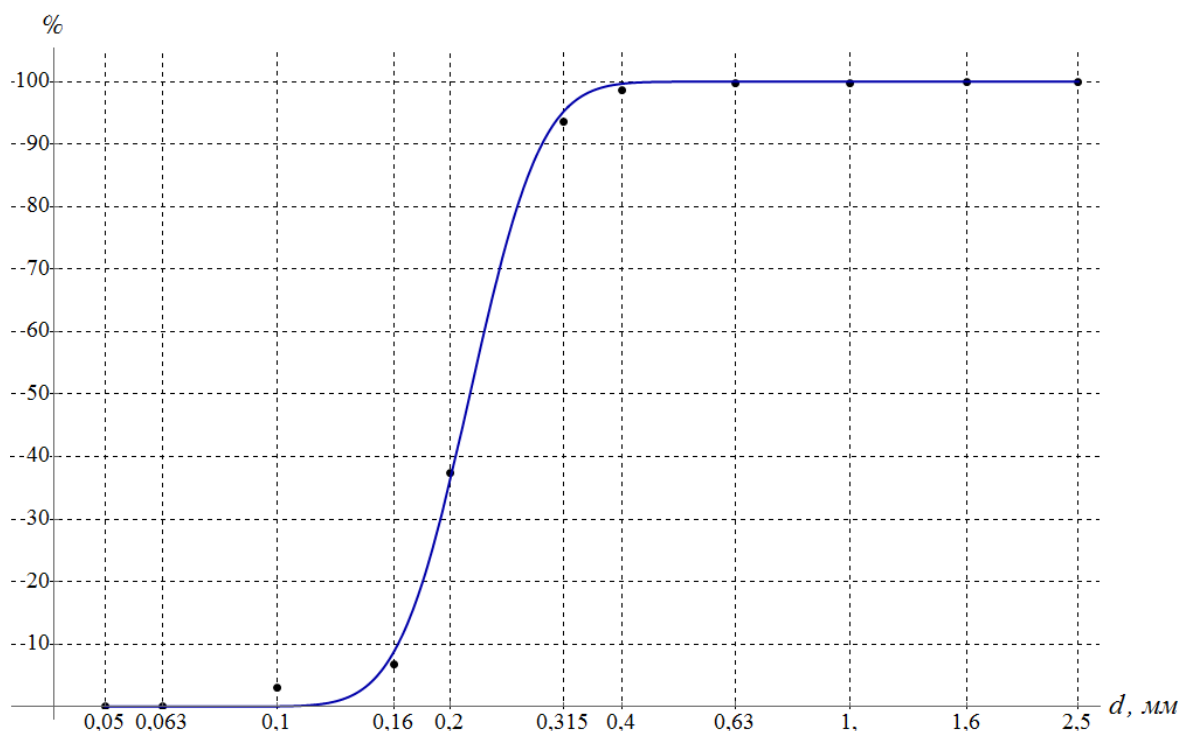


Рис. 1 – Гранулометрическая кривая для исходного песка

На основном этапе работы были проведены эксперименты по уплотнению песка тремя разными способами: с помощью вибрации, лабораторного копра и посредством прессования. Все эксперименты были выполнены для четырех основных фракций, а также для исходного формовочного песка. Для того чтобы результаты экспериментов можно было сравнивать между собой, они проводились в схожих условиях: во всех случаях уплотнялась навеска песка массой 100 г, которая помещалась в стандартную гильзу. Высота столба смеси измерялась до и после уплотнения. По изменению высоты судили об уплотняемости:

$$Y = \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100\% , \quad (3)$$

где h_0 – начальная высота столба;
 h – высота столба после уплотнения.

Для каждого образца перед уплотнением определялась влажность по ускоренной методике в соответствии с ГОСТ 29234.5–91. Влажность всех используемых образцов была не выше 0,5 % по массе.

Кроме того, во всех экспериментах оценивали итоговую пористость по формуле вида (2). Однако из-за того, что в нашем эксперименте использовалась навеска массой 100 г, итоговая расчетная формула имеет вид:

$$\varepsilon = 1 - \frac{19,2}{h} . \quad (4)$$

Из-за ограниченного количества песка эксперименты проводились в следующем порядке:

- виброуплотнение,
- уплотнение на копре,
- уплотнение прессованием на формовочной машине.

Способы уплотнения расположены по мере увеличения силового воздействия на песок, поскольку при уплотнении силовыми методами неизбежно разрушение отдельных песчинок и связанное с этим изменение гранулометрического состава.

Эксперименты по виброуплотнению проводились на вибростоле с нерегулируемым вибровозбудителем ИВ–20, работающим от трехфазной сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 220/380 В. Частота вращения вала – 2800 об/мин. Колебания преимущественно вертикальные. Контроль параметров вибрации осуществлялся посредством ручного вибрографа с записью виброграмм на вошеной бумаге.

Было установлено, что параметры вибрации сильно различаются по амплитуде на разных участках вибростола. Для проведения экспериментов по виброуплотнению была использована центральная зона стола (зона 5 на рис. 2), в которой амплитуда колебаний составляла около 1,5 мм. Учитывая синусоидальность колебаний, можно определить амплитуду ускорения вибрации, получаемую в этой зоне:

$$a_{\max} = A\omega^2 = \frac{\pi^2 A \cdot f^2}{900} \approx 129 \text{ м/с}^2 = 13,1g, \quad (5)$$

- где A – амплитуда вибрации, м;
 ω – круговая частота вибрации;
 f – частота вращения вала вибровозбудителя;
 g – ускорение свободного падения.

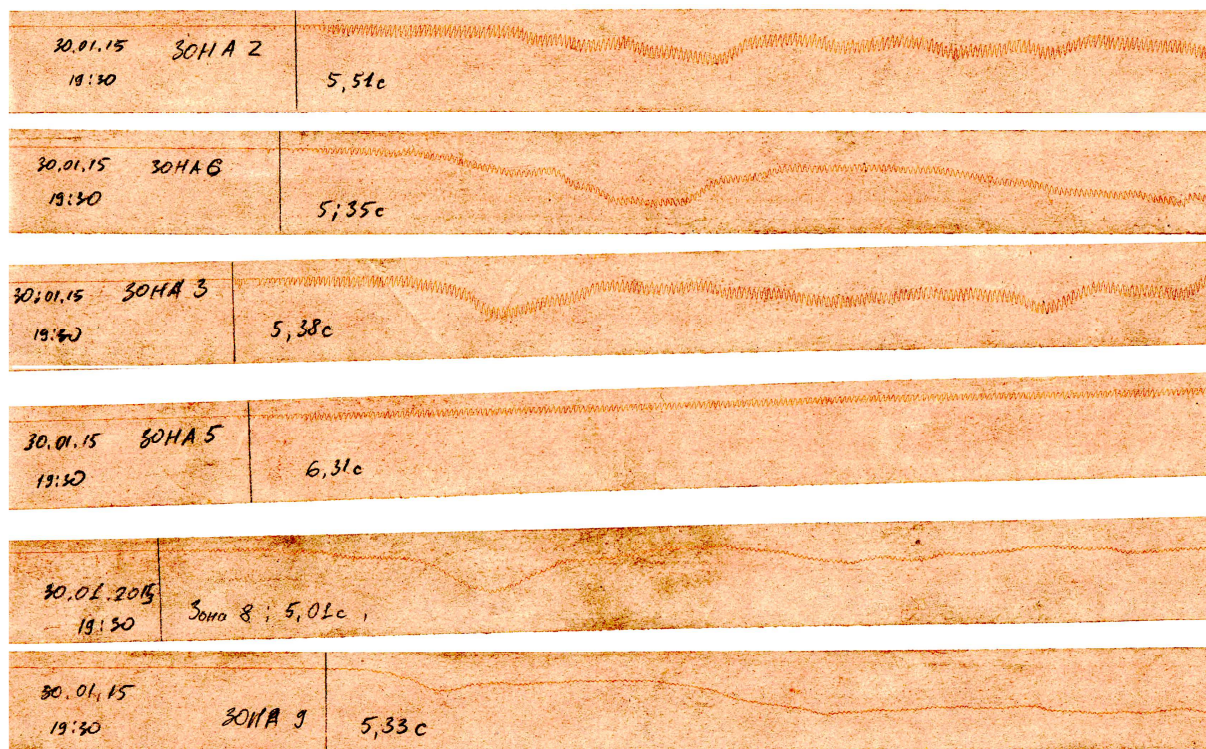


Рис. 2 – Виброграммы

При проведении виброуплотнения гильза с песком закреплялась на вибростоле. Время вибрационного воздействия с максимальной амплитудой составляло 15 с, после чего вибростол выключали, и после его полной остановки проводили измерение высоты песчаного столба в гильзе. По окончании эксперимента песок ссыпали обратно в емкость.

Уплотнение на копре осуществлялось по стандартной методике тремя ударами. Изменение высоты песчаного столба определялось по перемещению штанги копра.

Уплотнение прессованием производилось на пневматической машине встряхивающей с подпрессовкой модели 271. При этом использовался только механизм прессования. Гильза с песком помещалась на подставку из двух железных плит, которые устанавливались на рабочий стол машины. В гильзу на песок ставился металлический цилиндр, который играл роль прессовой колодки.

В каждом эксперименте контролировалось давление в подводящей магистрали. На протяжении всех опытов оно было примерно одинаковым и держалось на уровне 0,61 МПа. Исходя из этого, расчетом была определена сила, с которой прессовая колодка давила на песок. Эта сила составила около 67,7 кН. Под действием большого давления отдельные частицы дробились, из-за чего после уплотнения наблюдалось пыление песка в гильзе.

Результаты всех экспериментов по уплотняемости U и конечной пористости ε сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты экспериментов по определению уплотняемости

Фракция	Виброуплотнение		Уплотнение на копре		Прессование	
	$U, \%$	ε	$U, \%$	ε	$U, \%$	ε
01	2,857	0,435	4,225	0,435	5,882	0,400
016	4,286	0,427	4,167	0,443	7,143	0,409
02	4,348	0,418	4,286	0,427	8,571	0,400
0315	5,556	0,435	4,412	0,409	5,824	0,381
исх. песок	2,941	0,418	3,030	0,400	5,882	0,400

Сравнивая данные по уплотняемости песка различными способами, можно увидеть, что максимальная уплотняемость достигается с использованием прессования и доходит до 8 %. Однако это связано с тем, что частицы песка разрушаются под действием большой силы.

Можно также отметить, что виброуплотняемость довольно сильно зависит от размера частиц, в то время как уплотняемость песка на копре распределена по фракциям более-менее равномерно. Кроме того, во всех случаях уплотняемость песка исходного состава несколько ниже, чем у отдельных фракций.

Пористость, полученная после уплотнения силовыми методами, ожидаемо ниже, чем пористость песка после вибрации. При этом итоговая пористость песка исходного состава никак не выделяется на фоне «чистых» фракций.

Сравнивая полученные результаты с данными К. Н. Карлова (см. табл. 1), можно заметить хорошее сходство значений, полученных в нашем эксперименте на копре со значениями К. Н. Карлова для окатанных частиц. При этом сохраняется тенденция к

уменьшению пористости с увеличением среднего размера частиц. Большие значения пористости образцов, полученных виброуплотнением, можно объяснить либо приложением вибрации с неоптимальными параметрами, либо тем, что при уплотнении силовыми методами происходит частичное разрушение песчинок.

Список литературы:

1. Карлов, К. Н. Формовочные материалы, их происхождение, свойства, испытания и приготовление / инж. К. Н. Карлов. – 3-е изд., испр. и доп. / Ленинград; Москва: Онти. Глав. ред. лит-ры по черной металлургии, 1937 (Ленинград : 3 тип. Онти). – 295 с.
2. Particle Size - US Sieve Series and Tyler Mesh Size Equivalents [Электронный ресурс]. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1417> (Проверено 16.09.2015).
3. Шуляк, В. С. Литье по газифицируемым моделям / В. С. Шуляк. – СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
4. ГОСТ 29234.3–91 Пески формовочные. Метод определения среднего размера зерна и коэффициента однородности.