

Севостьянов В. С., д-р техн. наук, проф.,
Ильина Т. Н., д-р техн. наук, проф.,
Синица Е. В., канд. техн. наук, ст. преп.,
Шкарпеткин Е. А., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО ГРАНУЛЯТОРА НА ПРОЦЕСС ФОРМОВАНИЯ ПЕРЛИТОСОДЕРЖАЩИХ СМЕСЕЙ*

lina50@rambler.ru

На основании проведенного многофакторного планирования эксперимента получены регрессионные зависимости структурно-механических характеристик гранул от скоростных и конструктивно-технологических параметров вибрационно-центробежного гранулятора. Установлены рациональные значения варьируемых факторов для получения перлитосодержащих гранул заданного качества.

Ключевые слова: перлит, композиционная смесь, вибрационно-центробежный гранулятор, планирование эксперимента, факторы, уровни варьирования.

Гранулированные заполнители широко применяются при производстве различных строительных материалов и изделий. Особый интерес представляют гранулы, полученные из порошковых композиций на основе техногенных материалов.

Одним из таких материалов является уловленная пыль производства вспученного перлитового песка (ППП), образующаяся при обжиге алюмосиликатной водосодержащей горной породы вулканического происхождения. Перлит относится к группе легких ($\rho_{\text{нас}} = 100 - 200 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{ист}} = 1500 \text{ кг/м}^3$), влагоемких (водопоглощение до 400 % масс), тонкодисперсных материалов и характеризуется низкой теплопроводностью, высокой площадью удельной поверхности частиц. Исследования пластической прочности перлитового песка при малых скоростях деформации показали, что максимальное ее значение достигается при высоких значениях влажности (более 50%) [1].

Уплотнение порошкообразных перлитосодержащих смесей происходит по условно выделенным трем стадиям. Установлено, что на первой стадии, при малых усилиях (до 1 МПа), уплотнение составляет до 30%. При этом происходит удаление газообразной фазы между твердыми частицами. На второй – происходит фильтрация жидкой фазы, заполнение пустот материала с преимущественно пластической деформацией частиц сыпучей массы. Степень уплотнения составляет 30 - 40%, а прилагаемые усилия возрастают (до 1 - 3 МПа). На третьей стадии степень уплотнения достигает 40 - 60 %, пластические деформации переходят в упругие и сопровождаются резким увеличением затрачиваемых усилий (до 3 - 10 МПа) [2].

Из вышесказанного можно сделать вывод о целесообразности организации постадийного

процесса гранулирования порошкообразных смесей, включающего в себя:

- на первой стадии использование вибровоздействия, вакуумирования или ступенчатого механического воздействия для обеспечения фильтрации газообразной фазы (обезвоздушивания);

- на второй стадии - механическое воздействие для образования агломератов (зародышей) будущих гранул;

- на третьей - последующее гранулирование методом окатывания с получением гранул заданного качества.

Наиболее распространенными техническими средствами для производства гранул из композиционных смесей являются барабанные и тарельчатые грануляторы. Однако они не всегда позволяют получать продукт требуемого качества, особенно из материалов с низкой насыпной плотностью и высокой удельной поверхностью.

В связи с этим, нами был разработан вибрационно-центробежный гранулятор (ВЦГ) [3], в котором траектория движения каждого из рабочих барабанов определяет характер движения формируемого материала, что позволяет получать гранулы с заданными физико-механическими характеристиками.

Конструкция ВЦГ имеет устройство подготовки гранул, выполненное в виде профильных валков, а так же кривошипно-ползунный механизм, обеспечивающий заданное движение рабочих камер. Блок гранулирования включает три формирующих барабана, которые жестко закреплены на подвижной раме. Каждый барабан совершает движение по индивидуальной траектории за счет того, что рама, на которой они установлены, в нижней части шарнирно соединена с кривошипами, а в верхней - с ползунами, движущимися по вертикальному направляющему.

Гранулятор имеет следующие технические характеристики: диаметр валков $D_{B1} = 0,26$ м и $D_{B2} = 0,18$ м; частота вращения валков $n_B = 25 - 150$ об/мин; диаметр цилиндрических барабанов $D_1 = D_2 = D_3 = 0,15$ м; длина $L_1 = L_2 = L_3 = 0,50$ м; диаметр торообразных камер $D_{T1} = D_{T2} = 0,24$ м; частота вращения эксцентриковых валов $n_3 = 150 - 450$ об/мин; эксцентриситет $e = 20 \times 10^{-3}$ м.

Для проведения экспериментальных исследований нами были использованы составы на основе отходов производства вспученного перлитового песка (ППП). Связующими добавками для получения гранул были выбраны: бентонит, гипс и жидкое стекло. Раствор силиката натрия имеет сродство к перлиту, позволяет получить однородную смесь компонентов, обладает уникальной способностью при нагревании (до 200 - 300 °С) образовывать замкнутую пористую структуру гранул. Бентонит придает шихте пластичные свойства. Гипс способствует снижению влажности и увеличению прочности гранул.

Состав шихты, установленный по результатам предыдущих исследований на модельной установке, составляет, % мас.: PPP - 42-47; бентонит 13 - 17; гипс 13 - 17; жидкое стекло (на сухую часть) 23 - 26. Влажность смеси 52 - 56%. Технология получения гранул включала подготовку компонентов, их перемешивание с последующим определением насыпной плотности смеси. Приготовленную смесь загружали в валковое уплотняющее устройство, задавая частоту вращения валков от 80 до 120 об/мин для получения требуемой степени уплотнения материала. Коэффициент уплотнения рассчитывали, как отношение полученной плотности микрогранул к исходной плотности смеси. Затем уплотненную шихту загружали в формующий блок, состоящий из трех цилиндрических барабанов. Время гранулирования варьировали от 2 до 5 минут. Частоту враще-

ния эксцентрикового вала изменяли от 200 до 400 об/мин. Полученные гранулы рассеивали по фракциям: -2 мм, 2-7мм и +7мм. Сушку гранул осуществляли в сушильном шкафу при температуре 150-200 °С. Затем определяли прочность слоя гранул на сжатие и их насыпную плотность в соответствии с ГОСТ 9758-86.

Для получения математических моделей в виде уравнений регрессии, характеризующих зависимости исследуемых величин от переменных факторов, был проведен многофакторный планируемый эксперимент по ЦКРП-2ⁿ (центральный композиционный рототабельный план второго порядка). Полученная функция отклика была представлена в виде алгебраического выражения:

$$y = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i x_i + \sum_{i,j=1}^n A_{ij} x_i x_j, \quad (1)$$

где y – расчетное значение функции отклика ($\sigma_{сж}$ – прочность на сжатие сухих гранул, МПа;

$\rho_{нас}$ – плотность гранул, кг/м³; $q_{зр}$ – содержание гранул кондиционной фракции, %); A_0 – свободный коэффициент; A_i – коэффициенты при линейной зависимости; A_{ij} – коэффициент при парных и квадратичных взаимодействиях факторов; X_i, X_j – исследуемые независимые переменные.

В качестве исследуемых факторов, влияющих на процесс гранулирования, были выбраны: частота вращения эксцентрикового вала – x_1 (n , об./мин.), степень заполнения формующих барабанов – x_2 (φ , д.ед.), влажность шихты – x_3 (W , %), коэффициент предварительного уплотнения – x_4 ($K = \rho_2 / \rho_1$ ед.) (табл. 1).

Обработку полученных экспериментальных данных осуществляли согласно известным методикам [4, 5].

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

Факторы	Обозначения	Уровни варьирования				
		-2	-1	0	+1	+2
Частота вращения эксцентрикового вала, n , об./мин.	x_1	200	250	300	350	400
Степень заполнения барабана по объёму, φ , д.ед.	x_2	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
Влажность шихты, W , %	x_3	50	52	54	56	58
Коэффициент предварительного уплотнения шихты, $K = \rho_2 / \rho_1$ ед.	x_4	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5

Анализ величин коэффициентов в уравнениях регрессии показал, что коэффициент предварительного уплотнения и коэффициент заполнения барабанов ВЦГ оказывает значительное влияние на все исследуемые выходные характеристики, а именно приводят к увеличению прочности на сжатие, плотности и выходу кондиционных гранул. Однако увеличение значений выходных параметров не всегда является положительным. Так, увеличение насыпной плотности гранул (в случае производства запол-

нителей для теплоизоляционных смесей) ухудшает их потребительские характеристики (согласно предъявляемым требованиям к маркам пористых заполнителей по насыпной плотности и гранулометрическому составу). Так же, как и для коэффициента предварительного уплотнения, увеличение частоты вращения эксцентрикового вала приводит к росту всех выходных параметров. При этом в большей степени частота вращения влияет на плотность гранул и вы-

ход кондиционного продукта и в меньшей степени на прочностные характеристики.

Так же были получены графические зависимости влияния исследуемых факторов на выходные параметры (рис. 1, 2).

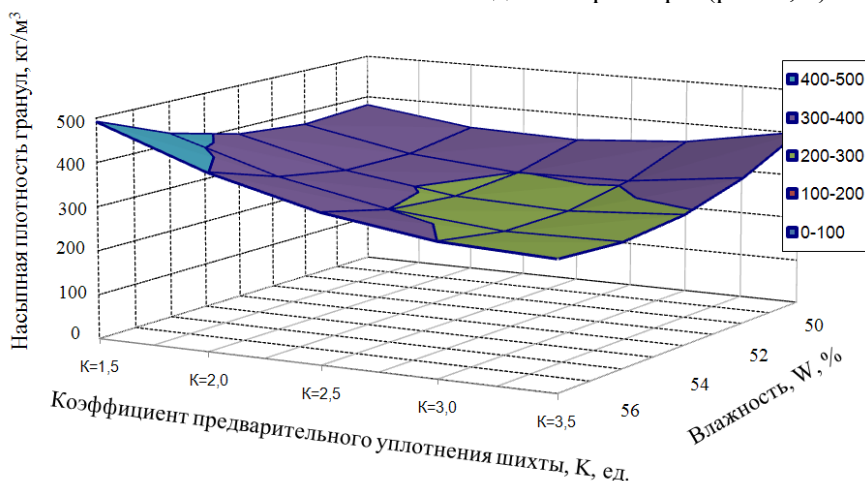


Рис. 1. Зависимость насыпной плотности сухих гранул от коэффициента предварительного уплотнения и влажности шихты

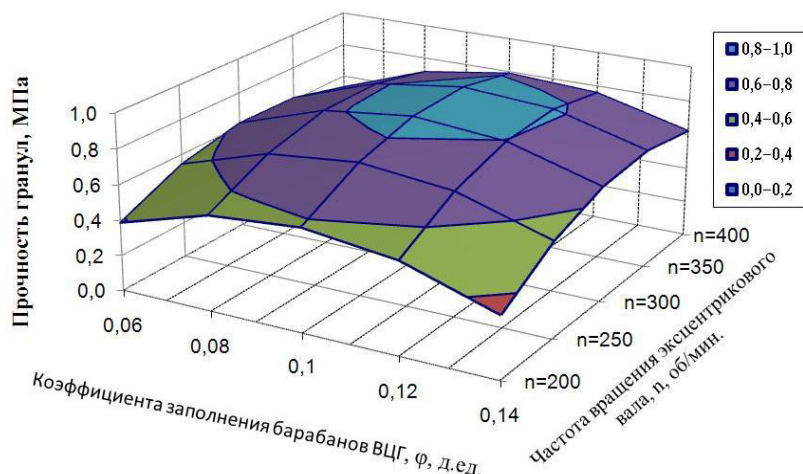


Рис. 2. Зависимость прочности сухих гранул от частоты вращения эксцентрикового вала и коэффициента заполнения барабанов ВЦГ

Анализ результатов исследований (рис. 1, 2) показал, что для получения перлитосодержащих гранул прочностью 0,6 - 0,8 МПа, плотностью 250 - 350 кг/м³, коэффициент уплотнения шихты должен составлять 2,5 - 3,0 при степени заполнения барабанов 0,10 - 0,12 и влажности шихты 52 - 56 %. Полученные гранулы соответствуют требованиям, предъявляемым к перлитовым заполнителям в соответствии с ГОСТ 10832-91 «Песок и щебень перлитовые вспученные».

Рациональные значения частоты вращения эксцентрикового вала, коэффициента уплотнения и степени загрузки для гранулирования других материалов, устанавливаются в каждом конкретном случае в зависимости от предъявляемых требований к конечному продукту.

**Исследования выполнены при частичной поддержке Совета по грантам Президента РФ (код проекта НШ-588.2012.8).*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильина Т. Н. Процессы агломерации в технологиях переработки дисперсных материалов: монография / Т.Н. Ильина. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 229 с.
2. Ильина, Т.Н. Механизм постадийного гранулообразования полидисперсных материалов / Т.Н. Ильина, В.С. Севостьянов, В.И. Уральский, М.В. Севостьянов, Е.А. Шкарпеткин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2010.- № 4. – С.3 – 7.
3. Пат. №2412753 РФ, Вибрационно-центробежный гранулятор / Ильина Т.Н., Севостьянов М.В., Уральский В.И., Шкарпеткин Е.А.; заявл. 25.09.09; опубл. 27.02.2011, Бюл. №6.
4. Зедгенидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгенидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.
5. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск.: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.