

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОВОЗБУЖДЕНИЯ НА ПРОЦЕСС СЕГРЕГАЦИИ**

Експериментально встановлено вплив режимів віброзбудження (частоти та амплітуди), висоти шару сипкого матеріалу та його крупності на процес сегрегації, тобто пересування дрібних часток у проміжках між крупними частками та їх просівання: із збільшенням висоти підкидання та коефіцієнту розпушення сегрегація відбувається інтенсивніше.

## **EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF VIBROEXCITATION PARAMETERS ON SEGREGATION PROCESS**

It was experimentally established the effect of vibroexcitation modes (frequency and amplitude), depth of a layer of the granular material and its size on the segregation process, at which the small particles move to a screen in the intervals between big particles and then they are screened: when the throwing up height and loosening coefficient is rising so the segregation process flower slower.

Применяемые в настоящее время технологии добычи твердого минерального сырья характеризуются тем, что крупность полученного продукта изменяется в широких пределах – от долей миллиметра до негабаритных кусков, поэтому разделение полученных сыпучих смесей на отдельные фракции с помощью операции грохочения остается актуальным. Созданные для этой цели виброгрохоты, эффективно работающие в одних условиях, оказываются несостоятельными для других. Причиной этого является недостаточно полный учет всех факторов, оказывающих существенное влияние на эффективность виброгрохочения.

Настоящая работа посвящена исследованию одной из составляющих процесса виброгрохочения – сегрегации. Под этим термином понимается перемещение по высоте слоя сыпучей среды, при воздействии вибровозбуждения, частиц, максимальный размер которых меньше диаметра отверстий просеивающей поверхности. Интенсивность и направление этого перемещения существенно влияет на технологические показатели грохочения. Однако сегрегация, по сравнению с вибротранспортированием и просеиванием, остается наименее исследованным процессом, что обусловлено трудностями как физического, так и математического моделирования. Именно последнее обстоятельство определило экспериментальный метод выявления факторов, существенно влияющих на этот процесс, что позволит получить необходимые параметры и, в конечном итоге, проверить правильность разработанной математической модели, обеспечить получение оптимальных технологических показателей грохочения.

Цель исследований – определение влияния параметров вибровозбуждения (амплитуды и частоты виброперемещения сита) на процесс сегрегации.

Эксперименты выполнялись на стенде, схема которого представлена на рисунке 1. Принцип действия и технические характеристики стенда подробно описаны в [1,2].



Измерения показали, что при  $H/D > 6$  и  $L/H < 2$ , где  $L$  – длина стороны емкости, возникают интенсивные циркуляции, которые не наблюдаются на серийных вибрационных грохотах. В зависимости от режима вибровозбуждения циркуляции крупных частиц были направлены из центра к периферии емкости либо, наоборот, – от стенок емкости к центру.

Для уменьшения влияния циркуляции сыпучего материала последующие эксперименты выполнялись при условии  $H/D < 6$  и  $L/H > 2$ . При этих ограничениях разбор смеси в емкости приходилось производить при высоте элементарного слоя, соизмеримого с размером  $D$  крупной частицы, что приводило к большой погрешности в определении содержания мелких частиц, которая в ряде случаев превышала 50 %. К этому следует добавить, что послойная разборка – трудоемкая операция, поэтому от нее отказались и перешли к следующей методике.

На поверхность колеблющегося сыпучего материала помещалась пробная мелкая частица  $d$ , которая мигрировала между крупными к сити и просеивалась. Время, за которое произошло указанное событие, пользуясь терминологией, принятой в теории марковских цепей, назовем временем поглощения, измерялось секундомером, высоты слоя в статике  $H$  и в разрыхленном состоянии  $H_g$  – штангенциркулем, а порозность определялась по массе жидкости, заполняющей свободное пространство между частицами. Среднее время поглощения вычислялось по результатам 100 опытов.

По методике, описанной в [1], определялись количество падений (ударов) сыпучего материала на сито за период переключения вибротранспортирования, а также его кратность.

Статистическая обработка результатов экспериментов производилась по известным зависимостям [3,4] с помощью программы Excel.

На рис. 2 приведены зависимости коэффициента разрыхления  $K_p$  и высоты подбрасывания  $\delta$  от частоты  $\nu$  и амплитуды  $A$  вибровозбуждения сита, полученные для слоя щебня высотой  $H = 30$  мм. Средний диаметр частиц  $D = 5,25$  мм, дисперсия  $\overline{D} = 0,91$  мм<sup>2</sup>, порозность – 0,324. На этих и последующих графиках указаны 95 % доверительные интервалы.

На рис. 3 графически изображено влияние амплитуды и частоты на среднее время поглощения  $\bar{t} = f(A, \nu)$  пробных частиц из щебня, диаметры и дисперсии которых, соответственно, равны  $d_1 = 1,57$  мм и  $\overline{D} = 0,36$  мм<sup>2</sup>;  $d_2 = 2,58$  мм и  $\overline{D} = 0,77$  мм<sup>2</sup>.

Прежде, чем обсуждать особенности зависимости  $\bar{t} = f(A, \nu)$ , отметим, что в результате ранее выполненных исследований [1] выявлено существование трех устойчивых режимов виброперемещения.

Первые два режима имеют обозначения 1/1 и 1/2, где в числителе указано количество ударов за период переключений, а в знаменателе – кратность режима [1,3]. Для третьего режима предложено обозначение  $(1, T)/2$ , которое указывает на то, что сыпучий материал находится на сите дополнительное время, равное периоду  $T$  вибровозбуждения [1].

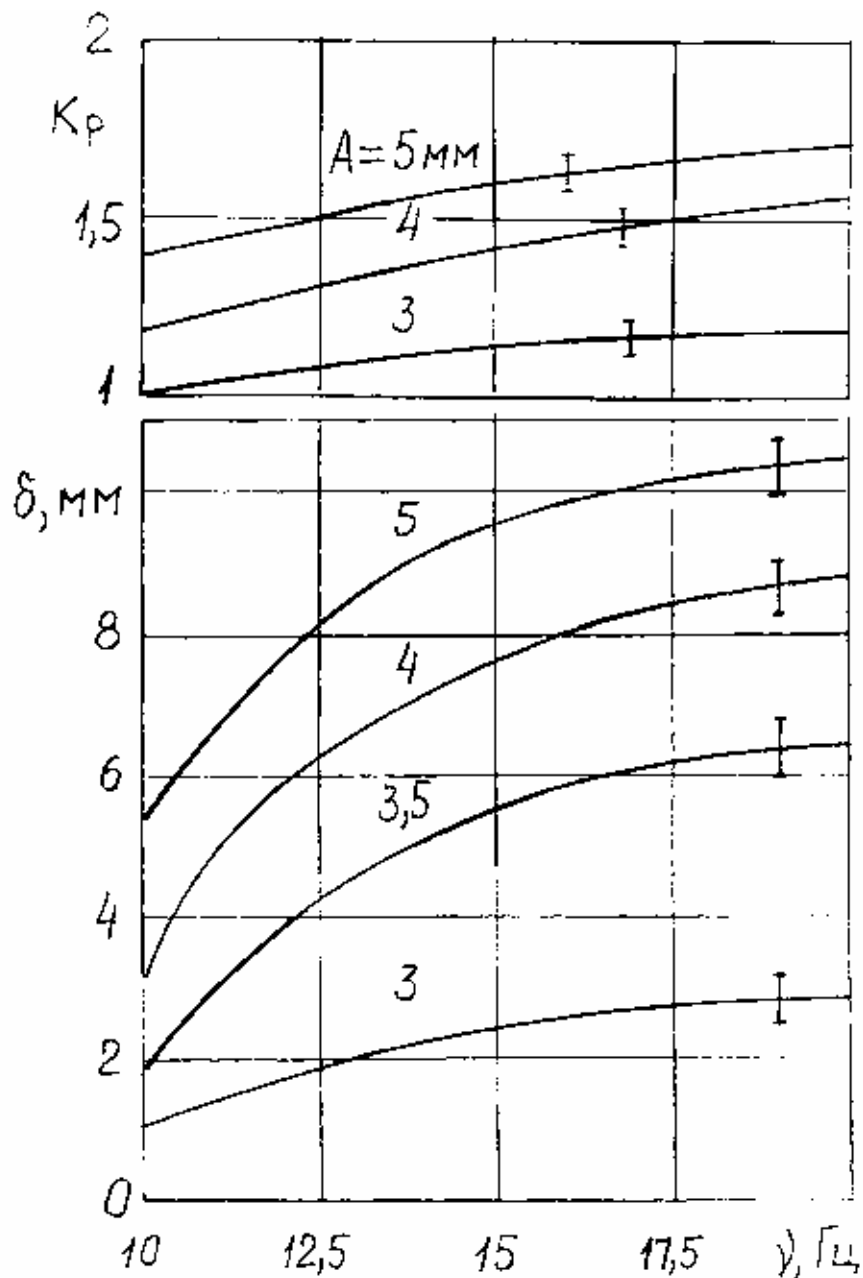


Рис. 2 – Зависимости коэффициента разрыхления  $K_p$  и высоты подбрасывания сыпучего материала  $\delta$  от амплитуды и частоты вибровозбуждения ( $H = 30$  мм;  $D = 5,25$  мм)

На графиках  $\bar{t} = f(A, \nu)$  (рис. 3) в области частот от 10 до 12,5 Гц происходит резкое снижение среднего времени поглощения, что связано с переходом от виброоживления к виброкипению, уменьшается количество контактов между частицами и увеличивается длина свободного пробега. С дальнейшим ростом частоты время поглощения монотонно уменьшается. В интервале же частот 16-18 Гц и амплитудах 4 и 5 миллиметров имеется локальный максимум.

Причина его появления связана с переходом от режима 1/1 к  $(1, T)/2$  и опять к режиму 1/1. В режиме  $(1, T)/2$  количество подбрасываний (падений) в единицу времени в два раза меньше по сравнению с режимом 1/1 и, следовательно, уменьшается количество шагов, совершаемых частицей.

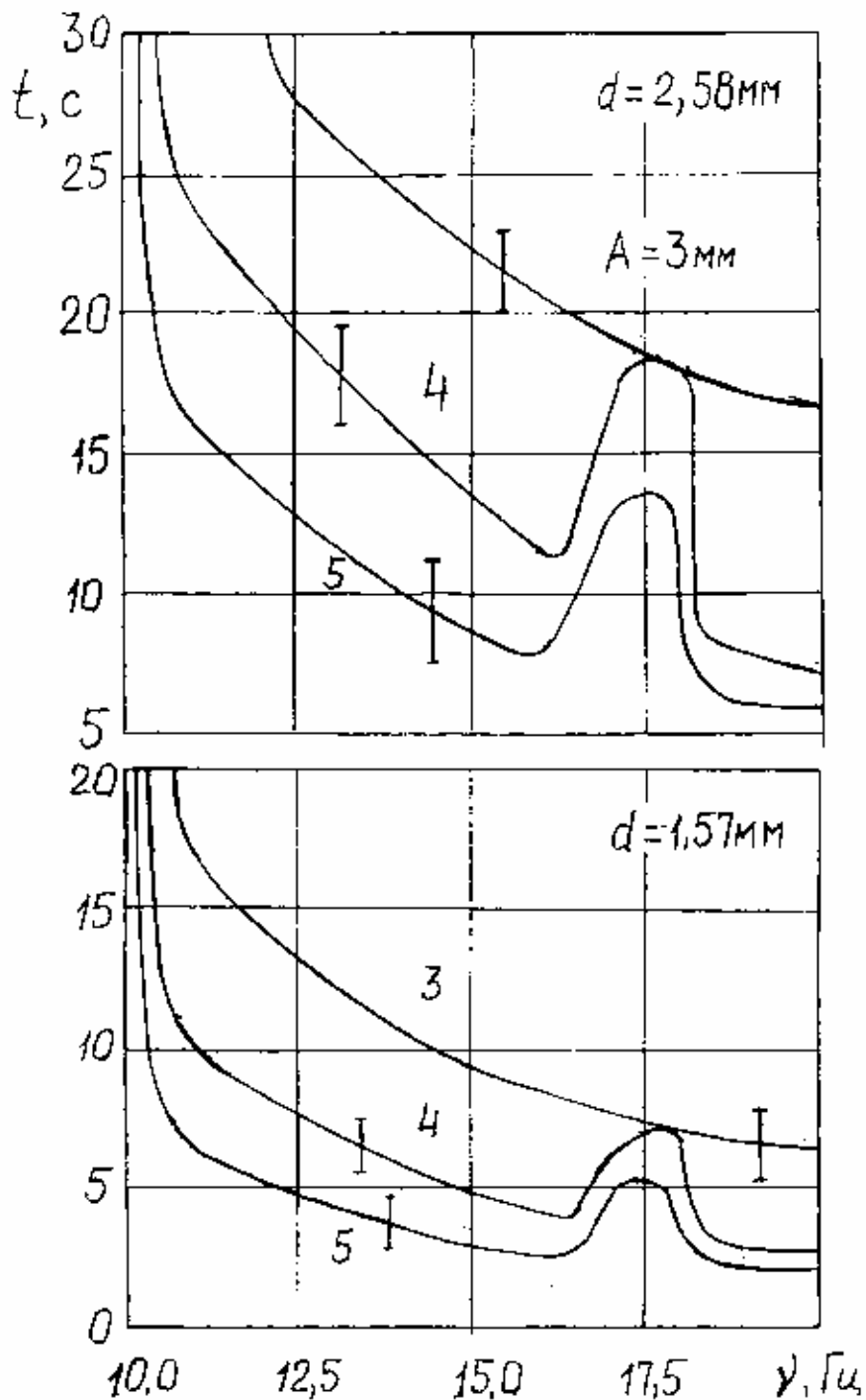


Рис. 3 – Среднее время поглощения мелкой частицы ( $H = 30 \text{ мм}$ ;  $D = 5,25 \text{ мм}$ )

Поскольку указанные переходы реализуются через области случайных чередований режимов  $1/1$ ,  $1/2$  и  $(1,T)/2$ , то вначале происходит нарастание, а затем – уменьшение  $\bar{t}$ . Существование режима  $(1,T)/2$  зависит от амплитуды, частоты, физико-механических свойств сыпучего материала и высоты слоя.

В тех случаях, когда не существует режим  $(1,T)/2$  кривая  $\bar{t} = f(A, \nu)$  имеет монотонный характер (например, при  $A = 3 \text{ мм}$ , рис. 3).

Зависимости коэффициента разрыхления, высоты подбрасывания, среднего времени поглощения от амплитуды и частоты, полученные для слоя  $40 \text{ мм}$  при

диаметре крупных частиц 10 мм, дисперсии 6,3 мм<sup>2</sup> и порозности 0,307, когда пробная частица щебня имела диаметр 3,56 мм и дисперсию 0,8 мм<sup>2</sup>, имеют тот же характер, что и представленные на рис. 2 и рис. 3.

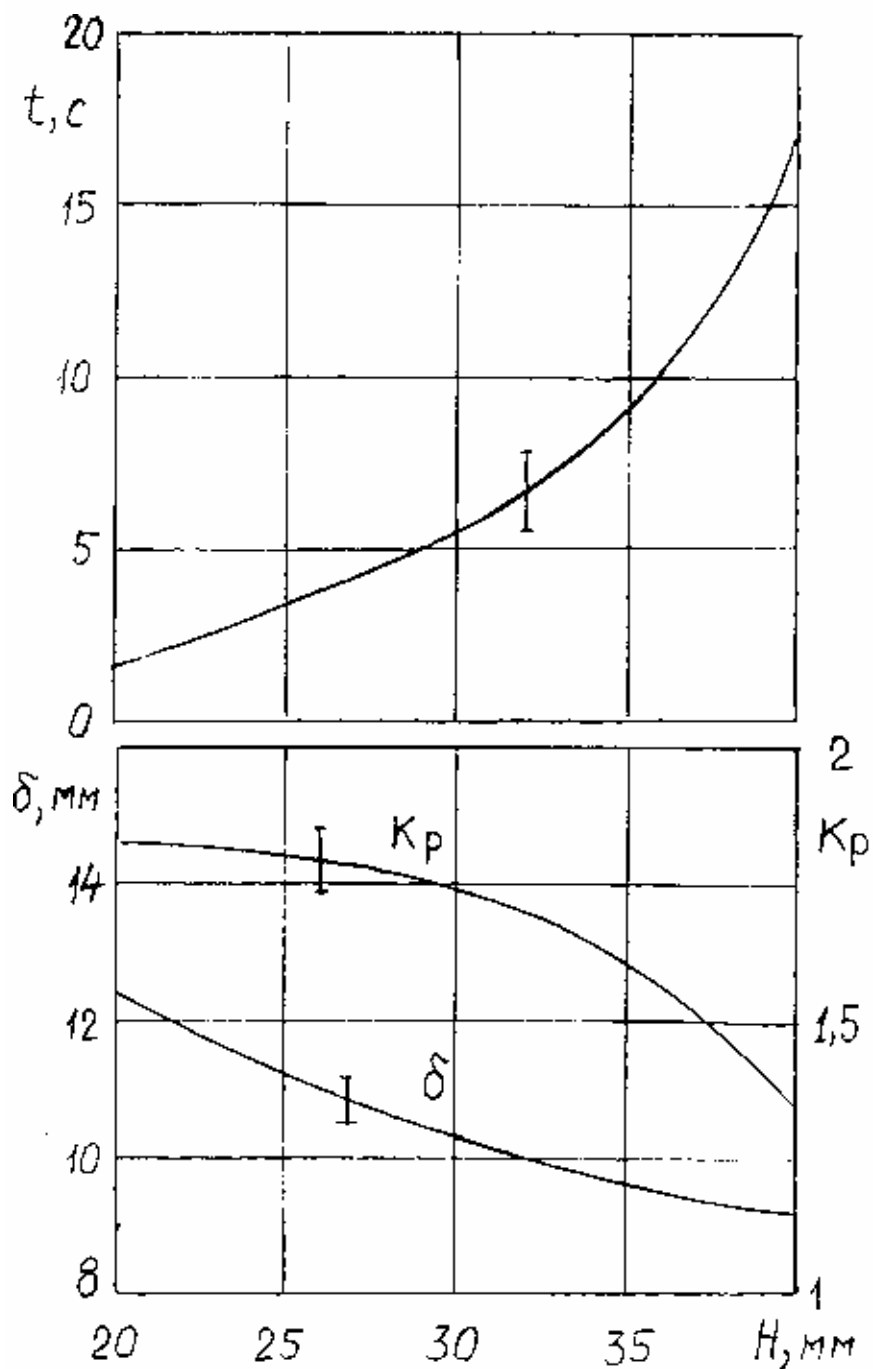


Рис. 4 – Зависимости среднего времени поглощения  $t_c$ , высоты подбрасывания  $\delta$  и коэффициента разрыхления  $K_p$  от высоты слоя  $H$   
( $A = 5$  мм  $v = 20$  Гц  $D = 5,25$  мм  $d = 2,58$  мм)

Влияние высоты слоя на  $K_p$ ,  $\delta$  и  $\bar{t}$  иллюстрируется графиками, представленными на рис. 4.

Из сопоставления полученных результатов (см. рис. 2-4) следует, что среднее время поглощения, а, следовательно, и вероятности переходов частиц из

слоя в слой зависят от коэффициента разрыхления, высоты подбрасывания и вида режима вибротранспортирования. С увеличением высоты подбрасывания и коэффициента разрыхления (при режиме 1/1) время поглощения уменьшается – сегрегация протекает интенсивнее. Вид режима влияет на количество шагов в единицу времени.

Эти результаты подтверждают физические представления, которые положены в основу математической модели вероятностей переходов [2], а именно: вероятность перехода  $\pi_{ij}$  зависит от длины свободного пробега частицы и ее средней энергии. При таком подходе энергетическое состояние слоя сыпучего материала при вибрационном воздействии определяется по коэффициенту разрыхления и высоте подбрасывания слоя, которые сравнительно просто измеряются в лабораторных условиях.

Итак, на основе экспериментальных исследований изучено влияние режимов вибровозбуждения (частоты и амплитуды), а также высоты слоя сыпучего материала и его крупности на процесс сегрегации, при котором мелкие частицы перемещаются к ситам между крупными частицами. Выявлена зависимость сегрегации от кратности режима вибровозбуждения и числа падений сыпучего материала за период переключений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надутый В.П., Лапшин Е.С., Прокопишин Л.Н. Экспериментальное исследование влияния режимов виброперемещения сыпучего материала на процесс просеивания // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. - Вып 13(54). - Днепропетровск, НГАУ. - 2002 - С. 9-16.
2. Надутый В.П., Лапшин Е.С. Кинематика сыпучей среды при вибрационном грохочении // Вибрации в технике и технологиях. - 2002. - №6. - С. 25-27.
3. Вибрация в технике. В 4-х Т. / Под ред. Э.Э. Лавендела. - М.: Машиностроение, 1981. - Т. 4. - 509 с.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Под ред. И.Г. Арамановича. - М.: Наука, 1968. - 720 с.