

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБОГАЩЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ СЫРЬЯ НЕОДНОРОДНОГО КАРБОНАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© А. Dreshpak

### CONCENTRATION AND CLASSIFICATION OF RAW MATERIALS FOR INHOMOGENEOUS CARBONATE DEPOSITS

**Метою статті** є опис особливостей методики проведення серії експериментальних досліджень за методикою відбору вапнякових проб Західно-Тягинського карбонатного родовища, порівняння результатів класифікації на вібраційному грохоті та запропонованої нової конструкції валково-пальцевого грохоту, а також оцінка ефективності процесів збагачення і класифікації сировини з вапнякових матеріалів. Підвищення вологості сировини, яка проходить класифікацію, призводить до появи глинисто-вапнякових комків в процесі переробки, їх налипанню на ситові поверхні сит, що зменшує ефективність грохочення, а в деяких випадках (при вологості більш ніж 12%) призводить до неможливості реалізації процесу класифікації.

**Методами дослідження** є методи однофакторного і багатофакторного регресійного аналізу - для створення стохастичних моделей процесу, а також гранулометричний і хімічний аналізи - для визначення хімічного складу зразків.

**Результати дослідження.** У зв'язку з більш детальним розглядом такого ефекту залипання глиною ситових поверхонь була проведена серія експериментальних досліджень для отримання вихідних даних розробки моделей багатофакторної регресії. Доведено, що використання валково-пальцевого грохоту за рахунок примусового переведення до підрешітного класу глинисто-вапнякових комків, які зазвичай зменшують вміст  $\text{CaCO}_3$  в надрештному продукті. При вмісті вологи в сировині до 12% ефективність просіювання збільшується в 2 рази. Ефективність збагачення вологого вапняку збільшується на 10-20%.

**Наукова новизна.** Отримано багатофакторні регресійні залежності для визначення ступеня впливу неконтрольованих факторів в технологічному процесі підготовки сировини на показники ефективності збагачення.

**Практичне значення.** Була створена експериментальна установка валковий-пальцевого грохоту, яка дозволила провести серію експериментів, щоб розглянути використання такого типу грохотів в технологічних лініях збагачення вапняку. Пропонований апарат дозволив визначити раціональні режими просіювання, а також характеристики грохотів, прийнятні в виробничих процесах.

**Ключові слова:** вапняк, збагачення, валково-пальцевий грохот, валковий грохот, ефективність грохочення.

**Введение.** Сырье неоднородных карбонатных месторождений Украины (в частности, Западно-Тягинского неоднородного карбонатного месторождения, Херсонская обл.) характеризуется значительным содержанием нецелевых компонентов. Исходный продукт, добываемый в карьере, состоит из частиц различной крупности. Значительная часть исходного известнякового сырья содержит глинистые частицы в виде пленок, примазок, комовой глины, что существенно усложняет процесс получения товарного продукта высокого качества.

Наличие глинистых частиц создает проблемы при выполнении операций классификации известняков, что характерно для условий повышенной влажности.

Технологические линии классификации и обогащения сырья неоднородных карбонатных месторождений, как правило, реализуют операции его дробления и грохочения. Повышение влажности сырья, подлежащего грохочению, приводит к окомкованию глины в процессе переработки, ее налипанию на поверхности сит, что снижает эффективность грохочения, а в некоторых случаях (при влажности свыше 12%) приводит к невозможности реализации процесса классификации. При этом предприятию наносится значительный материальный ущерб, связанный с недовыпуском продукции.

Применяемые на карьерах технологические линии сухой переработки сырья обеспечивают получение товарных продуктов приемлемого качества только для крупных классов щебня в условиях низкой влажности. Мелкие классы щебня (крупностью 0-20мм) при этом не используются и направляются в отвал (хвосты). Возникает необходимость совершенствования существующего процесса классификации и обогащения сырья с целью повышения качества конечного продукта и расширения на этой основе фракционного состава товарного щебня, удовлетворяющего требованиям стандарта.

В условиях сухой переработки материалов необходимо стремиться к расширению области, характеризующейся высоким показателем эффективности грохочения, в сторону увеличения приемлемых для этого процесса значений влажности классифицируемого материала. Это позволит снизить зависимость режимов работы оборудования от погодных и сезонных условий, сократить перерывы в работе технологических линий.

Результаты исследования, изложенные в [1], свидетельствуют о том, что повышение эффективности обогащения и классификации сырья достигается путем введения в технологическую линию его переработки нового элемента, осуществляющего отделение глины от кусков горной породы и снижающего влияние влажности сырья на достигаемые показатели эффективности. Конструктивные и технологические параметры разработанного автором валково-пальцевого грохота [2] в значительной мере определяют достигнутые показатели обогащения и классификации. Достигаемый эффект может быть зафиксирован путем моделирования процессов обогащения и грохочения на основе создания многофакторных регрессионных моделей. При этом исходные данные для моделирования получают путем проведения серии экспериментальных исследований.

**Цель статьи** состоит в обосновании структурного построения регрессионных моделей для оценки показателей эффективности обогащения и грохочения сырья, определении перечня учитываемых при моделировании факторов, пределов их изменения, сопоставлении показателей эффективности обогащения и грохочения сырья Западно-Тягинского карбонатного месторождения для вариантов использования в технологической линии обогащения сырья валково-пальцевого грохота и без его использования. Задача состоит в оценке этих по-

казателей в условиях изменяющейся влажности сырья, а также содержания известняка в исходном продукте.

**Содержание исследования.** В технологических линиях переработки сырья показатели эффективности процесса обогащения и грохочения зависят от целого ряда факторов. Это прежде всего конструктивные и технологические параметры вновь введенного элемента (валково-пальцевого грохота), а также других элементов, входящих в технологическую линию. Поэтому в созданных в этой работе математических моделях, построенных на результатах эксперимента, учтены наиболее важные факторы, оказывающие существенное влияние на показатели эффективности. Этот подход к моделированию используется в многофакторном регрессионном анализе. Применение теории планирования эксперимента [3,4], позволяет уменьшить количество экспериментов, необходимых для построения регрессионной зависимости. Регрессионные зависимости, связывающие показатели эффективности обогащения и классификации с факторами, их определяющими, предложено построить для двух вариантов: существующей технологической линии и линии, содержащей разработанный элемент (валковый грохот). Это создает возможность сопоставления расчетных характеристик. На основе такого сопоставления будет дана оценка эффективности разработанного устройства, причем эта оценка будет относиться к наиболее важным (общепризнанным в обогащении) показателям. Использование регрессионных моделей предполагает определение перечня тех параметров, связь между которыми задана уравнениями регрессии.

Общепризнанной характеристикой процесса обогащения известняка является его эффективность  $E$ . Значение показателя  $E$  зависит от ряда факторов: характеристик используемого сырья, конструктивных параметров устройств, осуществляющих его переработку, режимов работы этих устройств. При переработке сырья в условиях карьеров характеристики исходного сырья могут изменяться. Например, может измениться содержание известняка  $\alpha$  в исходном продукте, которое существенно повлияет на показатель обогащения  $E$ . Важным показателем, характеризующим процесс переработки, является эффективность классификации (грохочения) сырья  $E_r$ . Этот показатель определяет эффективность обогащения  $E$  и поэтому исследование факторов, влияющих на достигаемый уровень  $E_r$ , пределов их изменения позволяет не только изучить особенности процесса грохочения, но и связать их с эффективностью обогащения. Аналогично показателю  $E$ , значение  $E_r$  зависит от множества факторов. Изменение угла наклона валково-пальцевого грохота, его производительности, количества оборотов вала и других параметров приводит к вариации значения  $E_r$ . Поэтому следует уделить внимание выбору перечня факторов, вводимых в создаваемые регрессионные модели. Стремление ограничить количество трудоемких опытов предполагает уменьшение общего числа факторов. При исследовании процесса необходимо учитывать все существенные факторы. Если их количество велико, то некоторые факторы должны быть стабилизированы на определенных уровнях в течение всего эксперимента [3]. Поэтому при создании мо-

делей были выделены два важных фактора, оказывающие существенное влияние на показатели  $E$  и  $E_r$ . Это содержание известняка в исходном сырье  $\alpha$  и влажность сырья  $W$ . Предложено в процессе выполнения опытов стабилизировать уровни других параметров, влияющих на  $E$  и  $E_r$ , что позволило ограничить количество факторов в создаваемых регрессионных моделях.

Определены границы возможных изменений факторов  $\alpha$  и  $W$ . Опыт добычи сырья с разных утесов Западно-Тягинского неоднородного карбонатного месторождения свидетельствует о том, что содержание известняка в исходном сырье колеблется в пределах  $\alpha = 50 \dots 80\%$ . Близкие уровни, полученные при проведении экспериментов, будем считать граничными значениями вариации фактора  $\alpha$  (51,43...78,73%). Влажность  $W$  характеризует климатические условия переработки сырья. Низкая влажность (6...7%) характерна для наружных слоев сырья при солнечной погоде. Внутренние слои материалов разрабатываемых уступов имеют большую влажность. Известно, что при влажности 12% эффективность грохочения известняка существенно снижается (ниже 30%), что грозит остановкой технологической линии. Таким образом, граничными значениями фактора  $W$  будем считать влажности 6% и 12%.

Ставится задача формирования четырех линейных многофакторных регрессионных зависимостей:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{EC} &= b_{01} + b_{11}X_1 + b_{21}X_2, \\ \hat{Y}_{EH} &= b_{02} + b_{12}X_1 + b_{22}X_2, \\ \hat{Y}_{EGC} &= b_{03} + b_{13}X_1 + b_{23}X_2, \\ \hat{Y}_{EGH} &= b_{04} + b_{14}X_1 + b_{24}X_2. \end{aligned} \quad (1)$$

где,  $\hat{Y}_{EC}$ ,  $\hat{Y}_{EH}$ ,  $\hat{Y}_{EGC}$ ,  $\hat{Y}_{EGH}$  – оценки математических ожиданий параметров:  $\hat{Y}_{EC}$  – параметра  $E$  для технологической линии без валково-пальцевого грохота,  $\hat{Y}_{EH}$  – параметра  $E$  для технологической линии с валково-пальцевым грохотом,  $\hat{Y}_{EGC}$  – параметра  $E_r$  для технологической линии без валково-пальцевого грохота,  $\hat{Y}_{EGH}$  – параметра  $E_r$  для технологической линии с валково-пальцевым грохотом;  $b_{01}$ ,  $b_{02}$ ,  $b_{03}$ ,  $b_{04}$ ,  $b_{11}$ ,  $b_{12}$ ,  $b_{13}$ ,  $b_{14}$ ,  $b_{21}$ ,  $b_{22}$ ,  $b_{23}$ ,  $b_{24}$  – коэффициенты регрессионных зависимостей;  $X_1$  и  $X_2$  – значения  $\alpha$  и  $W$  соответственно.

Из (1) следует, что в уравнениях задействованы одни и те же переменные (факторы  $X_1$  и  $X_2$ ), оказывающие существенное влияние как на эффективность обогащения  $E$ , так и на эффективность процесса грохочения  $E_r$ . Эти факторы в карьерных условиях работы технологической линии относятся к разряду слабоуправляемых (вернее, трудноуправляемых, так как в принципе возможно создание условий для переработки сырья, обеспечивающих заданную концентрацию известняка и заданную влажность исходного материала. Однако создание таких «особых» условий весьма затратное). В лабораторных экспериментах, где использованы ограниченные объемы исходного сырья, управление параметрами  $X_1$  и  $X_2$  возможно, то есть их следует рассматривать как управляемые параметры, что создает условия для проведения «активного» эксперимен-

та. В таком эксперименте исследователь обеспечивает вполне конкретные расчетные значения факторов, влияющих на функцию отклика. В выполняемом исследовании предполагается использование «активного» эксперимента.

Значения коэффициентов  $b_{ij}$  в регрессионных зависимостях (1) подлежат расчету. Определение коэффициентов позволит установить связь между факторами  $X_1$  и  $X_2$  и перечисленными функциями отклика. Анализ этих связей позволит оценить достигаемые уровни  $E$  и  $E_T$  в режимах работы, характерных для неуправляемых факторов в производственных условиях.

При определении в уравнениях регрессии (1) коэффициентов  $b_{0j}$ ,  $b_{1j}$ ,  $b_{2j}$  может оказаться, что их значения статистически зависимы [4]. В результате возникает неопределенность в оценке этих коэффициентов, которая затрудняет физическую интерпретацию степени влияния независимых факторов ( $X_1, X_2$ ) на функцию отклика. Для исключения такой ситуации используют ортогональное планирование эксперимента [4]. Используя ортогональное планирование, составим план эксперимента (табл.1).

Таблица 1.

План эксперимента.

№ опыта	$X_0^*$	$X_1^*$	$X_2^*$	$Y_{EC}$	$Y_{EH}$	$Y_{EFC}$	$Y_{EHN}$
1	+	-	-	$Y_{EC1}$	$Y_{EH1}$	$Y_{EFC1}$	$Y_{EHN1}$
2	+	+	-	$Y_{EC2}$	$Y_{EH2}$	$Y_{EFC2}$	$Y_{EHN2}$
3	+	-	+	$Y_{EC3}$	$Y_{EH3}$	$Y_{EFC3}$	$Y_{EHN3}$
4	+	+	+	$Y_{EC4}$	$Y_{EH4}$	$Y_{EFC4}$	$Y_{EHN4}$

Обработку экспериментальных данных будем осуществлять в формате, использующем относительные значения факторов  $X_1, X_2$ , величины которых вычисляют по формулам[4]:

$$X_1^* = \frac{X_1 - X_1^0}{\xi_1}, \quad X_2^* = \frac{X_2 - X_2^0}{\xi_2}; \quad (2)$$

где  $X_1^0, X_2^0$  – значения факторов  $X_1, X_2$  на основном (нулевом) уровне;  $\xi_1, \xi_2$  – интервалы варьирования факторов  $X_1$  и  $X_2$ . Таким образом, верхние граничные уровни факторов  $X_{1B}^* = X_{2B}^* = +1$ , а нижние  $X_{1H}^* = X_{2H}^* = -1$ , на нулевом уровне значения  $X_{10}^* = X_{20}^* = 0$ . Получим

$$\xi_1 = \left( \frac{78,73 - 51,43}{2} \right) = 13,65\%, \quad \xi_2 = \left( \frac{12 - 6}{2} \right) = 3\%,$$

$$X_1^0 = 65,08\% \quad X_2^0 = 9\%$$

Ввод в формулы (1) новых переменных ( $X_1^*$  и  $X_2^*$ ) приведет к соответствующим изменениям рассчитываемых коэффициентов уравнений регрессии  $b_{ij}$ . В плане эксперимента относительные значения факторов  $X_1^*$  и  $X_2^*$  принимают

граничные уровни (+1, -1). В табл.1 эти уровни обозначены соответственно (+, -). План эксперимента должен включать также функции отклика. Так как предполагается формирование четырех регрессионных зависимостей, таблица плана эксперимента содержит четыре столбца, каждый из которых содержит информацию о соответствующей переменной. Такая форма представления плана обусловлена тем, что одни и те же факторы ( $X_1^*$ ,  $X_2^*$ ) используются в каждом из приведенных уравнений (1). Задача упрощается тем, что пределы варьирования факторов  $X_1^*$  и  $X_2^*$  в процессе моделирования также остаются неизменными. Таким образом, выполняется полный факторный эксперимент типа « $2^2$ ». Количество наблюдений, необходимых для формирования одного регрессионного уравнения, равно 4 (без учета параллельных опытов). Следует обратить внимание на то, что в каждом опыте возможна (технически выполнима) регистрация двух функций отклика, отвечающих параметрам  $E$  и  $E_T$ . Поэтому общее количество наблюдений сокращается в 2 раза и равно 8 (без учета параллельных опытов).

Матрицы значений функций отклика

$$\begin{aligned}
 Y_{EC} &= \begin{bmatrix} Y_{EC1} \\ Y_{EC2} \\ Y_{EC3} \\ Y_{EC4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 26,8 \\ 43 \\ 6,8 \\ 32,7 \end{bmatrix}, & Y_N &= \begin{bmatrix} Y_{EH1} \\ Y_{EH2} \\ Y_{EH3} \\ Y_{EH4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 31,35 \\ 52,2 \\ 18,9 \\ 51,9 \end{bmatrix}, \\
 Y_{EGC} &= \begin{bmatrix} Y_{EGC1} \\ Y_{EGC2} \\ Y_{EGC3} \\ Y_{EGC4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 81,9 \\ 81,3 \\ 37 \\ 38,2 \end{bmatrix}, & Y_{EGH} &= \begin{bmatrix} Y_{EGH1} \\ Y_{EGH2} \\ Y_{EGH3} \\ Y_{EGH4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 86 \\ 89,9 \\ 63 \\ 75,8 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Матрицы (3) составлены из значений функций отклика для каждой переменной искомым уравнений регрессии (1). Численные значения переменных для матриц (3) получены экспериментальным путем на макете валково-пальцевого грохота. Использован матричный метод расчета коэффициентов регрессионных зависимостей

Оценки значений коэффициентов  $b_{ij}$  для каждого уравнения регрессии (1) получим из формул [3]

$$\begin{aligned}
 B_1 &= \begin{bmatrix} b_{01} \\ b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix} = (X X)^{-1} X Y_{EC}; & B_2 &= \begin{bmatrix} b_{02} \\ b_{12} \\ b_{22} \end{bmatrix} = (X X)^{-1} X Y_{EN}; \\
 B_3 &= \begin{bmatrix} b_{03} \\ b_{13} \\ b_{23} \end{bmatrix} = (X X)^{-1} X Y_{EGC}; & B_4 &= \begin{bmatrix} b_{04} \\ b_{14} \\ b_{24} \end{bmatrix} = (X X)^{-1} X Y_{EGH}
 \end{aligned} \tag{4}$$

В результате решения матричных уравнений (4) с учетом (3) получены следующие численные значения элементов матриц  $B_1, B_2, B_3, B_4$ :

$$B_1 = \begin{bmatrix} 27,3 \\ 10,5 \\ -7,37 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} 38,6 \\ 13,5 \\ -3,2 \end{bmatrix}, \quad B_3 = \begin{bmatrix} 59,6 \\ 0,15 \\ -22 \end{bmatrix}, \quad B_4 = \begin{bmatrix} 78,8 \\ 4,05 \\ -9,15 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Проверена гипотеза адекватности полученных уравнений регрессии (1). Для этого получены расчетные значения  $F_p$  – критерия Фишера для каждого уравнения [4] и их значения сопоставлены с табличными  $F_T$ . Результаты сопоставления приведены в табл. 2

Таблица 2.

Проверка адекватности уравнений регрессии

Расчетные значения $F_p$	4,2	5,24	2,62	4,88
Табличное значение $F_T$	5,3	5,3	5,3	5,3
Результаты сопоставления $F_p$ и $F_T$	4,2 < 5,3	5,24 < 5,3	2,62 < 5,3	4,88 < 5,3

Так как при расчете коэффициентов  $b_{ij}$  в уравнении (1) использовались относительные значения переменных  $X_1^*$  и  $X_2^*$  (2), то в результате перехода к реальным значениям  $X_1$  и  $X_2$  получим следующие регрессионные зависимости

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{EC} &= 27,3 + 10,5 \frac{X_1 - 65,08}{13,65} - 7,37 \frac{X_2 - 9}{3}, \\ \hat{Y}_{EH} &= 38,6 + 13,5 \frac{X_1 - 65,08}{13,65} - 3,2 \frac{X_2 - 9}{3}, \\ \hat{Y}_{EGC} &= 59,6 + 0,15 \frac{X_1 - 65,08}{13,65} - 22 \frac{X_2 - 9}{3}, \\ \hat{Y}_{EGH} &= 78,8 + 4,05 \frac{X_1 - 65,08}{13,65} - 9,15 \frac{X_2 - 9}{3}. \end{aligned} \quad (6)$$

Исходя из того, что коэффициенты  $b_{ij}$  уравнениях (1) определялись с использованием ортогонального планирования и являются независимыми параметрами, существует возможность оценки влияния каждого из факторов ( $X_1$ ,  $X_2$ ) на соответствующую функцию отклика.

**Выводы.** 1. Для исследования процессов классификации исходного сырья Западно-Тягинского неоднородного карбонатного месторождения созданы линейные регрессионные многофакторные модели, где в качестве факторов использованы значения содержаний известняка и влажности исходного продукта, а в качестве функций отклика – значения показателей эффективности обогащения и грохочения сырья, выраженные в процентах. Новизна предложенных регрессионных моделей состоит в обосновании введенных в модели переменных,

пределов их изменения, отвечающих условиям эксплуатации действующих технологических линий.

2. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что 1%-ное изменение влажности сырья  $W$  приводит к большему процентному изменению показателей эффективности  $E$ ,  $E_r$ , чем 1%-ное изменение содержания известняка  $\alpha$  в исходном сырье, то есть степень влияния факторов модели на функцию отклика различна.

3. Относительно малые значения коэффициентов  $b_{13}$ ,  $b_{14}$  в регрессионных моделях (1) свидетельствуют о том, что эффективность грохочения известнякового сырья  $E_r$  в малой степени зависит от содержания известняка  $\alpha$ . Наблюдается существенная зависимость  $E_r$  от влажности перерабатываемого продукта.

4. При увеличении влажности сырья до 12% эффективность грохочения валково-пальцевым грохотом превышает показатель для технологической линии без классификатора в 2 раза). Наличие валково-пальцевого грохота оказывает стабилизирующее действие на процесс классификации, что сопровождается также повышением эффективности обогащения (на 10–20%).

#### Перечень ссылок

1. Дрешпак, А.С. (2016) Обоснование исходных параметров обогащения известняков из неоднородных карбонатных месторождений. *Збірник «Збагачення корисних копалин»*, 64 (105). 59-68.
2. Дрешпак А.С. (2018) Особенности конструктивного исполнения фигурных дисков валково-пальцевого грохота. *Збірник «Збагачення корисних копалин»*, 71 (111). 29-38.
3. Спиридонов А.А. (1981) *Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов*. Москва.: Машиностроение, 184 с.
4. Спирин, Н.А., & Лавров, В.В. (2004) *Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Конспект лекций* / Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ, 257с.
5. ДСТУ, Б. (1999). БВ 2.7-71-98 «Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт». Київ: Вид-во стандартів

#### АННОТАЦИЯ

**Целью** статьи является описание особенностей методики проведения серии экспериментальных исследований по методике отбора известняковых проб Западно-Тягинского карбонатного месторождения, сравнение результатов классификации на вибрационном грохоте и предлагаемой новой конструкции валково-пальцевого грохота, а также оценка эффективности процессов обогащения и классификации сырья известняковых материалов. Повышение влажности сырья, подлежащего классификации, приводит к появлению глинисто-известняковых комков в процессе переработки, их налипанию на ситовые поверхности, что снижает эффективность грохочения, а в некоторых случаях (при влажности более 12%) приводит к невозможности реализации процесса классификации.

**Методами исследования** являются методы однофакторного и многофакторного регрессионного анализа - для создания стохастических моделей процесса, а также гранулометрический и химический анализы - для определения состава образцов.

**Результаты исследования.** Проведена серия экспериментальных исследований для получения исходных данных разработки моделей многофакторной регрессии. Доказано, что ис-

пользование валково-пальцевого грохота за счет принудительного перевода в подрешетный класс глинисто-известняковых комков, которые обычно уменьшают содержание  $\text{CaCO}_3$  в надрешетном продукте. При содержании влаги в сырье до 12% эффективность просеивания увеличивается в 2 раза. Эффективность обогащения влажного известняка увеличивается на 10-20%.

**Научная новизна.** Получены многофакторные регрессионные зависимости для определения степени влияния неконтролируемых факторов в технологическом процессе подготовки сырья на показатели эффективности обогащения.

**Практическое значение.** Была создана экспериментальная установка валково-пальцевого грохота, которая позволила провести серию экспериментов, чтобы рассмотреть использование такого типа грохотов в технологических линиях обогащения известняка. Предлагаемый аппарат позволил определить рациональные режимы грохочения, а также характеристики грохотов, приемлемые в производственных процессах.

**Ключевые слова:** известняк, обогащение известняка, валково-пальцевый грохот, валковый грохот, эффективность грохочения.

#### ABSTRACT

**Purpose.** The purpose of the article is to describe the features of the methodology for conducting a series of experimental studies for screening raw limestone materials from the West-Tyaginsky carbonate deposit, comparing the classification results due to a vibrating screen and the new design of starscreen, as well as assessing the efficiency of enrichment processes and classifying the raw limestone materials. Increasing the moisture content of the raw material that classified leads to the appearance of clay-limestone lumps during processing, sticking them to sieve surfaces, which reduces the efficiency of screening, and in some cases (at a moisture content more than 12%) leads to the impossibility of the classification process.

**The methods of research** are the methods of single-factor and multi-factor regression analysis - for creating stochastic models, as well as granulometric and chemical analyzes - to determine the composition of samples.

**Findings.** A series of experimental studies to obtain the initial data for the development of multi-factor regression models is conducted. It is proved that the use of a starscreen increases the mass of the undersize product. Using of the roll-finger screen is due to the forced transfer of clay-limestone lumps to the undersize class, and usually reduce the content of  $\text{CaCO}_3$  in the topsize product has been proven. When the moisture content of the raw material up to 12%, the effectiveness of screening increases in 2 times. The efficiency of raw limestone enrichment increases by 10-20%.

**The originality.** The multi-factor regression dependences for determining the degree of influence of uncontrolled factors in the technological process of raw material preparation on the indicators of enrichment efficiency are obtained.

**Practical implications.** An experimental unit of a starscreen was created, which allowed a series of experiments to prove the use of such type of screens in the processing lines of limestone enrichment. The unit allowed to determine the rational modes of screening, as well as the characteristics of the screens, acceptable in production processes.

**Key words:** limestone, enrichment of raw materials, starscreen, roller screen, efficiency of screening.