

УДК [622. 732:621.4:621. 926].001.57

**В.П. Надутый**, д-р техн. наук, профессор  
(ИГТМ НАН Украины),

**Е.З. Маланчук**, канд. техн. наук  
(Национальный университет водного хозяйства  
и природопользования, г. Ровно),

**А.М. Эрперт**, канд. техн. наук  
(ГВУЗ "Национальный горный университет")

**РЕГРЕССИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ  
УЧАСТКА ДРОБЛЕНИЯ ТУФА В ЦИКЛЕ РУДОПОДГОТОВКИ  
К ЕГО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ**

**В.П. Надутый**, д-р техн. наук, професор,  
(ИГТМ НАН України),

**Є.З. Маланчук**, канд. техн. наук  
(Національний університет водного господарства  
та природокористування, м. Рівне),

**О.М. Ерперт**, канд. техн. наук  
(ДВНЗ "Національний гірничий університет")

**РЕГРЕСІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ  
ДІЛЬНИЦІ ДРОБЛЕННЯ ТУФУ У ЦИКЛІ РУДОПІДГОТОВКИ  
ДО ЙОГО КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ**

**V.P. Naduty**, D.Sc. (Tech.), Professor  
(IGTM, NAS of Ukraine),

**Ye. Z. Malanchuk**, Ph.D. (Tech.)  
(National university of water management  
and nature resources use, Rovno),

**A.M. Erpert**, Ph.D. (Tech.)  
(State Higher Educational Establishment  
"National Mining University")

**REGRESSIVE MODELLING OF THE  
TUFF CRUSHING DISTRICT WORK WITHIN THE ORE-  
PRETREATMENT CYCLE FOR FURTHER  
TUFF COMPLEX PROCESSING**

**Аннотация.** В статье представлены результаты регрессионного моделирования работы участка дробления как части технологической схемы комплексной переработки и подготовки к обогащению базальтового сырья с целью извлечения титаномагнетита и самородной меди. Полученные экспериментальные зависимости распределения классов крупности от размеров щели щековой дробилки и производительности щековой дробилки от размера щели разгрузочной. Представлены регрессионные модели производительности с учетом размера разгрузочной щели.

Показаны результаты распределения туфа по классам крупности после валковой дробилки с разгрузочной щелью 3,0 мм в зависимости от крупности исходной массы, поступающей из щековой дробилки. Выполнен графический анализ этих результатов.

© *В.П. Надутый, Е.З. Маланчук, А.М. Эрперт, 2013*

**Ключевые слова:** щековая дробилка, валковая дробилка, распределение классов крупности, математическая модель.

Как уже неоднократно отмечалось ранее [1], базальты Волыни имеют сложный элементный состав, поэтому целесообразна их комплексная безотходная переработка для извлечения титаномагнетита, самородной меди. Оставшуюся силикатную массу можно использовать для различных нужд народного хозяйства. Туф является одной из составляющих базальтового месторождения. В настоящее время при добыче базальта карьерным способом для нужд строительства его сопутствующие породы в виде туфа и лавобрекчии не используются, а складываются в отвал. Поскольку все три указанные составляющие месторождения содержат титаномагнетит и самородную медь в количествах, представляющих промышленный интерес, что подтверждено результатами геологических и лабораторных исследований [2], разработана схема технологии рудоподготовки каждого сырья для его комплексной безотходной переработки. Для проверки работоспособности этой схемы предложено создать научно-производственный участок на конкретную производительность с целевым выходом продуктов извлечения. Выполнены подбор и испытания каждой единицы технологического оборудования. В результате получены зависимости его основных показателей от режимных и конструктивных факторов при регулировании параметрами процесса рудоподготовки.

Целью работы является анализ полученных экспериментальных зависимостей для построения регрессионной модели работы участка дробления общей схемы на примере подготовки туфа, поскольку эта часть схемы является общей для всех трех составляющих базальтового сырья.

Исходя из поставленной цели, рассматривается процесс дробления горной массы (туфа) как один из этапов технологической схемы комплексной переработки сырья для получения конечного продукта. Данный процесс является начальным этапом переработки горной массы. Исследуемый фрагмент технологической схемы представлен на рис. 1.

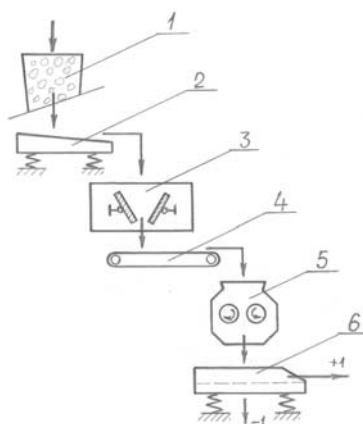


Рисунок 1 – Схема участка дробления технологической цепи переработки туфа.

В бункер 1 поступает горная массы (туф плотностью  $\gamma = 1,6$ ) крупностью  $80 \div 100$  мм, которая вибропитателем 2 подается в щековую дробилку 3 с регулируемой разгрузочной щелью (30 мм, 20 мм и 10 мм), что обуславливает распределение дробленого материала по классам крупности на выходе дробилки и ее производительность. Дробленая горная масса с помощью ленточного перегружателя 4 передается на следующую стадию дробления валковой дробилкой 5 с последующей разгрузкой на виброгрохот 6.

Распределение туфа по классам крупности после дробления на щековой дробилке представлено в табл. 1.

Таблица 1 – Распределение туфа по классам крупности после дробления на щековой дробилке

| № п/п | Классы крупности, мм | Содержание класса в дробильном продукте, % |                 |                 |
|-------|----------------------|--|-----------------|-----------------|
|       |                      | Щель 30 мм                                 | Щель 20 мм      | Щель 10 мм      |
| 1     | -30,0+20,0           | 41,0                                       | -               | -               |
| 2     | -20,0+10,0           | 28,0                                       | 50,0            | -               |
| 3     | -10,0+5,0            | 16,0                                       | 30,0            | 58,0            |
| 4     | -5,0+3,0             | 6,0  | 8,0             | 26,0            |
| 5     | -3,0+1,0             | 5,0  | 7,0             | 10,0            |
| 6     | -1,0+0,5             | 3,0  | 5,0             | 6,0             |
| G     |                      | 100 % = 10 т/ч                             | 100 % = 7,5 т/ч | 100 % = 4,5 т/ч |

На основании представленных экспериментальных данных получена статистическая модель, устанавливающая взаимосвязь выхода  $G$  соответствующего класса крупности  $k$ . Для щековой дробилки с размером щели разгрузки  $\Delta = 30$  мм установлено:

$$\hat{G} = 0,475 + 2,09k - 0,018k^2.$$

При этом коэффициент детерминации  $R^2 = 0,993$  и все коэффициенты модели – значимы. На рис. 2 приведены фактический и расчетный графики зависимости выхода соответствующего класса крупности от значения этого класса. Из рисунка следует достаточно хорошее соответствие статистической модели фактическим данным.



Рисунок 2 – Выход классов крупности при размерах щели 30 мм (щековая дробилка)

Для щели разгрузки дробилки  $\Delta = 20$  мм установлено:

$$\hat{G} = 0,011 + 3,51k - 0,09k^2.$$

Проверка достоверности полученной зависимости показала, что коэффициент детерминации  $R^2 = 0,962$ .

На рис. 3 приведены фактический и расчетный графики зависимости выхода соответствующего класса крупности от значения этого класса, которые подтверждают хорошее согласие теоретической модели с фактическими данными.

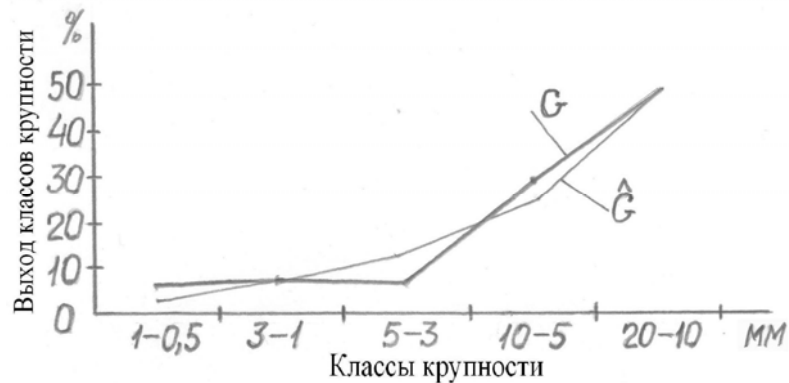


Рисунок 3 – Выход классов крупности при размерах щели 20 мм (щековая дробилка)

Аналогично была получена модель для случая щели разгрузки дробилки  $\Delta = 10$  мм:

$$\hat{G} = 2,12 + 3,74k - 0,5k^2.$$

Коэффициент детерминации составил  $R^2 = 0,997$ . Иллюстрирующий эту зависимость график приведен на рис. 4. Он свидетельствует о практически идеальном соответствии модели фактическим данным.

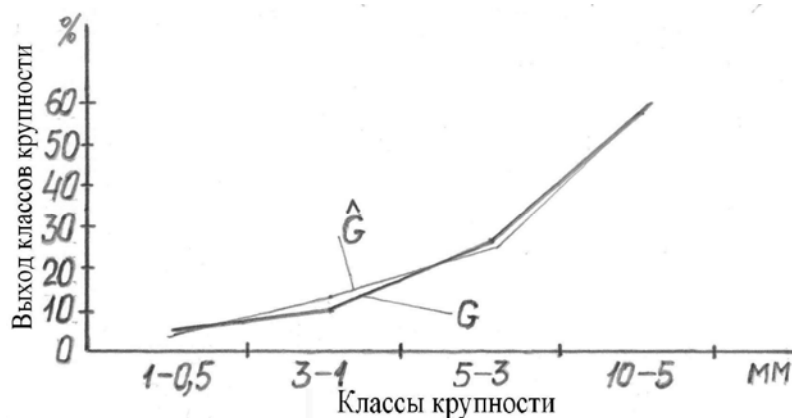


Рисунок 4 – Выход классов крупности при размерах щели 10 мм (щековая дробилка)

Обобщенная графическая модель, отражающая зависимость распределения горной массы по классам крупности на выходе щековой дробилки в зависимости от размеров щели разгрузки, приведена на рис. 5.

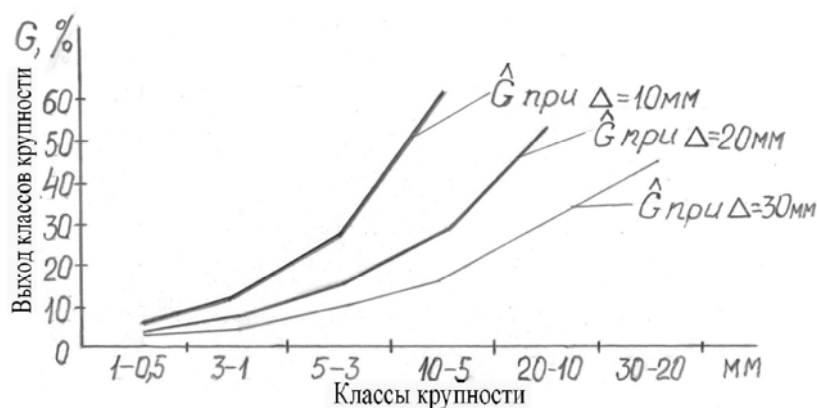


Рисунок 5 – Расчетный выход классов крупности для различных размеров щели щековой дробилки

Из графиков видно, что по мере уменьшения размеров щели разгрузки распределение классов крупности снижается, что приводит к уменьшению дисперсии крупности и улучшению условий последующей переработки на валковой дробилке. С другой стороны, чем меньше размер выходной щели, тем больше времени необходимо для получения конечного продукта и тем ниже будет производительность дробилки. Этот факт иллюстрирует график на рис. 6, где показана фактическая  $Q$  и расчетная  $\hat{Q}$  производительности щековой дробилки в зависимости от размеров щели разгрузки  $\Delta$ .

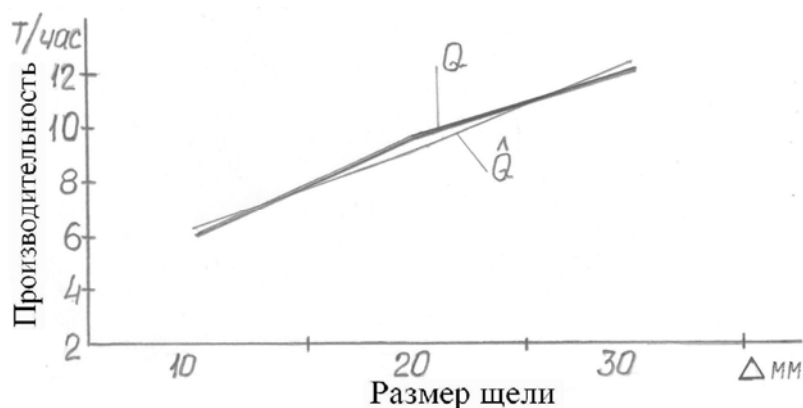


Рисунок 6 – Зависимость производительности щековой дробилки от размеров щели разгрузки

Расчетная модель была получена в виде линейной зависимости

$$\hat{Q} = 1,17 + 0,3\Delta,$$

где  $\Delta = 10$  мм, 20 мм, 30 мм.

После дробления щековой дробилкой горная масса ленточным перегружателем 4 подается на валковую дробилку 5 мелкого дробления с размером щели  $\Delta_b = 3,0$  мм, которая додрабливает горную массу. Причем, класс  $-5,0+3,0$  мм составляет не более 5 % в общем выходе. Дробленая масса с валковой дробилки подается на виброгрохот 6 мелкого грохочения, который обеспечивает разделение на классы  $+1,0$  мм (надрешетный продукт) и  $-1,0$  мм (подрешетный продукт). В табл. 2 приведено распределение горной массы по классам  $+1,0$  мм и  $-1,0$  мм в зависимости от крупности исходной массы, поступающей из щековой дробилки [3, 4].

Таблица 2 – Распределение туфа по классам крупности после валковой дробилки при  $\Delta_b = 3,0$  мм

| Класс крупности, Мм | Содержание в дробленном продукте, % |                             |                             |
|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                     | Исходная крупность $-10$ мм         | Исходная крупность $-20$ мм | Исходная крупность $-30$ мм |
| $+1,0$              | 49                                  | 50,1                        | 53,5                        |
| $-1,0$              | 51                                  | 49,4                        | 46,5                        |

Графическое изображение представленных в табл. 2 данных показано на рис. 7, из которого следует, что по мере увеличения исходной крупности горной массы выход класса  $-1,0$  мм уменьшается, что необходимо учесть при проектировании линии переработки.

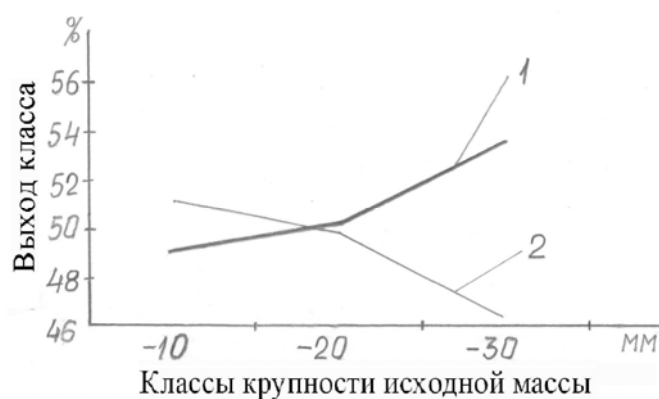
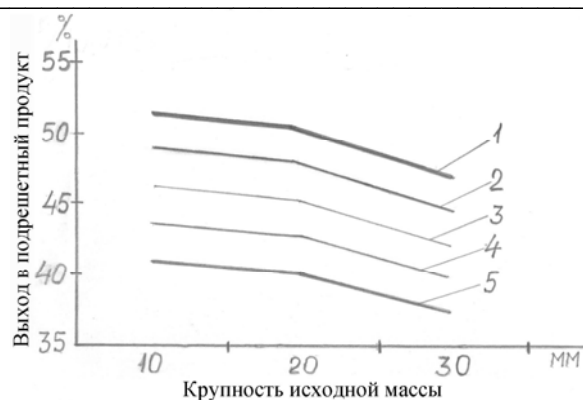


Рисунок 7 – Выход классов крупности  $+1,0$  и  $-1,0$  в дробленном продукте валковой дробилки

При последующей классификации виброгрохотом не весь грохотимый материал уйдет в подрешетный продукт. Поэтому для моделирования процесса необходимо определить коэффициент извлечения  $k_{и}$ . Для идеальной схемы  $k_{и} = 1$ , то есть вся горная масса просеялась, но практически  $k_{и} < 1$ . Зависимость извлечения в подрешетный продукт от начальной крупности горной массы показана на рис. 8.



1 – коэффициент извлечения  $k = 1$ ; 2 – коэффициент извлечения  $k = 2$ ; 3 – коэффициент извлечения  $k = 3$ ; 4 – коэффициент извлечения  $k = 4$ ; 5 – коэффициент извлечения  $k = 5$   
Рисунок 8 – Выход подрешетного продукта в зависимости от коэффициента извлечения

Проводимые дальнейшие исследования эффективности грохочения позволят установить фактическое значение коэффициента извлечения, что необходимо для последующего моделирования полного участка технологической схемы.

Таким образом, выполненные исследования позволили представить в модельном виде работу дробильного участка общей технологической схемы переработки туфа как одного из компонентов базальтового сырья, перспективного для его комплексной безотходной технологии переработки. Полученные регрессионные зависимости позволяют устанавливать рациональные параметры дробильного оборудования без проведения трудоемких промышленных испытаний, а также определяться с параметрами оборудования при его выборе и комплектации технологической схемы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат, А.Ф. Перспективы развития сырьевой базы горного производства на основе комплексной переработки техногенных отходов / А.Ф. Булат, В.П. Надутый, Е.З. Маланчук // Геотехническая механика : Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 101. – С. 3-9.
2. Обоснование необходимости комплексной переработки цеолит-сметитовых туфов Волыни / В.П. Надутый, З.Р. Маланчук, О.Н. Прокопук // Форум гірників-2010 : Матеріали Міжнар. конф. – Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2010. – С. 50-55.
3. Надутый, В.П. Выбор факторов влияния и определение зависимостей производительности валковой дробилки от их параметров / В.П. Надутый, Е.З. Маланчук // Збагачення корисних копалин : Наук.-техн. зб. / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2012. – Вып. 47(88). – С. 64-68.
4. Надутый, В.П. Исследование закономерностей мелкого вибрационного грохочения базальтового сырья / В.П. Надутый, Е.З. Маланчук, И.П. Хмеленко // Геотехническая механика : Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 94. – С. 144-150.

#### REFERENCES

1. Bulat, A.F., Naduty, V.P. and Malanchuk Ye.Z. (2012), "Prospects of development of raw base of mountain manufacture on the basis of complex processing technogenic wastes", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 101, pp. 3-9.
2. Naduty, V.P., Malanchuk, Z.R. and Prokopuk, O.N. (2010), "Substantiation of necessity of complex processing of цеолит-сметитовых tuffs of Volhynia", *Proc. of the International scientific conference "Forum of Miners-2010"*, National Mining University, Dnepropetrovsk, pp. 50-55/

3. Naduty, V.P. and Malanchuk, Ye.Z. (2012), "Choice of the factors of influence and definition of dependences of productivity roll crusher from their parameters", *Zbahachennia korysnykh kopalyn* [Enrichment of minerals], no. 47(88), pp. 64-68.

4. Naduty, V.P. Malanchuk, Ye.Z. and Khmelenko I.P. (2011), "Research of laws fine vibrating screening of basalt raw material", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 94, pp. 144-150.

---

#### Об авторах

**Надутьий Владимир Петрович**, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), г. Днепропетровск, Украина, [nadutyvp@yandex.ua](mailto:nadutyvp@yandex.ua).

**Маланчук Евгений Зиновьевич**, канд. техн. наук, доцент, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно, Украина.

**Эрперт Александр Михайлович**, канд. техн. наук, профессор, ГБУЗ "Национальный горный университет", г. Днепропетровск, Украина.

#### About the author

**Naduty Vladimir Petrovich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of Department of Geodynamic Systems and Vibration Technologies, M.C. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [nadutyvp@yandex.ua](mailto:nadutyvp@yandex.ua).

**Malanchuk Yevgeniy Zinovyevich**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor, National university of water management and nature resources use, Rovno, Ukraine.

**Erpert Alexandr Mikhajlovich**, Ph.D. (Tech.), Professor, State Higher Educational Establishment is the "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine.

---

**Анотація.** У статті представлено результати регресійного моделювання роботи дільниці дроблення як частини технологічної схеми комплексної переробки і підготовки до збагачення базальтової сировини з метою вилучення титаномагнетиту і самородної міді. Отримано експериментальні залежності розподілу класів крупності від розмірів щілини щоклової дробарки і продуктивності щоклової дробарки від розміру щілини розвантаження. Представлено регресійні моделі продуктивності з урахуванням розміру розвантажувальної щілини. Показано результати розподілу туфу за класами крупності після валкової дробарки з розвантажувальною щілиною 3,0 мм у залежності від крупності вихідної маси, що надходить із щоклової дробарки. Виконано графічний аналіз цих результатів.

**Ключові слова:** щоклова дробарка, валкова дробарка, розподіл класів крупності, математична модель.

**Abstract.** The article describes results of regressive modeling which presents work of the crushing district as a part of manufacturing scheme of complex processing and preparation of basalt and its further enrichment with the aim to extract titaniferous magnetite and native copper. The authors obtained experimental dependencies of the size distribution on the sizes of the jaw crusher and dependencies of the jaw crusher productivity on the size of a discharging slot. Results of the tuff distribution by size classes after the roll crusher with discharging slot of 3,0 mm are shown depending on size of initial weight supplied from of the jaw crusher. Graphics of these results are analyzed.

**Keywords:** jaw crusher, roll crusher, size distribution, mathematical model.

*Стаття поступила в редакцію 11.05. 2013*

*Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Блюссом Б.А.*