

укосів глибоких кар'єрів: дис.... д-ра техн. наук: 05.15.01: захищена 16.03.2001 / Ніколашин Ю.М. – Дніпропетровськ: Національна гірнича академія України, 2000. – 304 с.

5. Полищук, С.З. Новые подходы к оценке устойчивости откосов и склонов: теория и практика / В.В. Голуб, С.З. Полищук, И.Л. Ветвицкий. - Днепропетровск: ЧМП «Экономика», 2011. - 172 с.

6. Шашенко, А.Н. Влияние сложной геологической структуры и обводнения массива пород на устойчивость откосов карьеров / А.Н. Шашенко, А.С. Ковров // Науковий вісник НГУ. - 2011. - № 5-6. – С. 36-42.

7. Vogel, T. Effect of the shape of the soil hydraulic functions near saturation on variably-saturated flow predictions/ Vogel T., van Genuchten M. and Cislerova M. - Adv. Water Res. 2001. -№ 24. - pp.133-144.

8. Бабий, Е.В. Комплексный анализ причин развития оползневых процессов в техногенно нарушенных массивах (на примере Анновского карьера) / Е.В. Бабий, В.Н. Гребенник // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов. – Днепропетровск. - 2008. – Вып. 77 – С. 16-24.

9. Ткаченко, Г.І. Розроблення методу розрахунку стійкості зовнішніх відвалів з урахуванням неоднорідності розкривних порід і слабкої основи: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.15.01: захищена 23.05.2008 / Ткаченко Г.І. – Кривий Ріг: Криворізький технічний університет, 2008. – 20 с.

10. Методическое пособие по комплексной геофизической диагностике массива и подземных геотехнических систем. – Днепропетровск ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины, 2004. – 75 с.

#### REFERENCES

1. Vlasov, S.F. and Maksimova-Gulyaeva, N.A. (2010), *Povyshenie ustoychivosti opolzneopasnykh sklonov s pomoshchyu struynoy tekhnologii zakrepleniya gruntov* [Enhancing the stability of landslide slopes by using jet grouting technology], SHEI «NMU», Dnepropetrovsk, Ukraine.

2. Drizhenko, A.Yu. (2011), *Karernye tekhnologicheskie gornotransportnye sistemy* [Career technology mining transportation systems], SHEI «NMU», Dnepropetrovsk, Ukraine.

3. Nesmashnyy, E.A., Tkachenko, G.I. and Bolotnikov, A.V. (2010), “Overview of technologies and technical means for geomechanical monitoring of the quarry and dumps”, *Razrabotka rudnykh mestorozhdeney*, vol. 93, pp. 89-94.

4. Nikolashin, Y.M. (2000), “Surveying the control of deformation processes to predict slope stability of deep quarries”, D. Sc. Thesis, mining surveying, National mining Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.

5. Golub, V.V., Polishchuk, S.Z. and Vetskiy, I.L. (2011), *Novye podkhody k otsenke ustoychivosti otkosov i sklonov: teoriya i praktika* [New approaches to the assessment of stability of slopes: theory and practice], ChMP «Ekonomika», Dnepropetrovsk, Ukraine.

6. Shashenko, A.N. and Kovrov, A.S. (2011), “The influence of complex geological structures and watering array of species on the stability of slopes quarry”, *Naukoviy visnyk NGU*, vol. 5-6, pp. 36-42.

7. Vogel, T., van Genuchten, M. and Cislerova M. (2001), “Effect of the shape of the soil hydraulic functions near saturation on variably-saturated flow predictions”, *Adv. Water Res.*, vol. 24, pp.133-144.

8. Babiy, E.V. and Grebennik, V.N. (2008), “A comprehensive analysis of the reasons for the development of landslide processes in man-disturbed massif (for example Annovsky quarry)”, *Geotekhnicheskaya mekhanika [Geo-Technical Mechanics]*, no. 77, pp. 16-24.

9. Tkachenko, G.I. (2008), “Development of a method of calculating the stability of external piles taking into account the heterogeneity of rocks disclosure and weak bases” Abstract of Ph.D. dissertation, mining surveying, Kryvyi Rig technical university, Kryvyi Rig, Ukraine.

10. Toolkit for integrated geophysical diagnostics array of geotechnical and underground systems (2004), M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.

#### Об авторах

**Четверик Михаил Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом Геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [chetverik.mihail@inbox.ru](mailto:chetverik.mihail@inbox.ru).

**Бабий Екатерина Васильевна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [katebabiy@yandex.ru](mailto:katebabiy@yandex.ru).

### About the authors

**Chetverik Mikhail Sergeevich**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Head of Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [chetverik.mihail@inbox.ru](mailto:chetverik.mihail@inbox.ru).

**Babiy Katerina Vasilevna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [katebabiy@yandex.ru](mailto:katebabiy@yandex.ru).

**Анотація.** Мета роботи - вивчення причин зсувних процесів в насипу під конвеєрну галерею циклічно-поточною технології на Першотравневому кар'єрі і розробка рекомендацій по забезпеченню її стійкості.

Вивчено геологічний і гідрогеологічний стан масиву гірських порід Першотравневого кар'єру. Виконана діагностика масиву шляхом електрометричних вимірювань. Визначено рівень підземних вод (верховодки) та зволоженість порід. Встановлено, що головною причиною виникнення зсуву в верхній частині насипу є відсікання місць розвантаження підземних вод з лесовидних суглинків в кар'єр. Це призвело до послаблення основи насипу. Виконано моделювання конструкцій насипу по зміцненню для обґрунтування протизсувних заходів. Виконані розрахунки коефіцієнта запасу стійкості, які показали, що технічні рішення щодо забезпечення стійкості повинні бути спрямовані на зміцнення основи насипу і зниження на нього навантажень у вигляді скельної пригрузки. Розроблені технічні рішення, що забезпечують стійкість насипу при відповідних технологічних навантаженнях і сейсмічному впливі до 8 балів при підливних роботах.

**Ключові слова:** кар'єр, зсуви, циклічно-поточна технологія, підземні води, електрометрична діагностика.

**Abstract.** Purpose of the research was to study factors which cause sliding of the dump under the conveyor gallery in the Pervomaisky Quarry where a cyclic-and-continuous technology (CCT) was used, and to develop recommendations for improving the gallery stability.

Geological and hydrogeological state of the rocks in the Pervomaisky Quarry was studied. The diagnostics of the massif was performed by electrometric measurement. The underground water level (topwater) and the rocks moisture were determined. It was established that the main factor of the landslide occurred in the top part of the dump was cutting-off of areas, where groundwater from the loess-like loam was discharged into the quarry, and, as a result, weakening of the dump base. The dump structures were simulated with the purpose to consolidate the dump and to validate the landslide-preventing measures. The calculated safety factor has showed that technical solutions for improving the dump stability should be aimed at consolidation of the dump base and reduction of a load caused by the rock weight. Technical solutions were developed which should improve the dump stability under appropriate technological loads and seismic loads up to 8 points caused by the blasting operations.

**Keywords:** quarry, landslides, cyclic-and-continuous technology, underground water, electrometric diagnosis.

*Стаття поступила в редакцію 11.08.2015*

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

УДК 622/794:621-1/-9

**Надутый В.П.**, д-р техн. наук, профессор,  
**Левченко П.В.**, канд. техн. наук,  
**Костыря С.В.**, аспирант  
(ИГТМ НАН Украины)

## **РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ**

**Надутый В.П.**, д-р техн. наук, професор,  
**Левченко П.В.**, канд. техн. наук,  
**Костирия С.В.**, аспірант  
(ІГТМ НАН України)

## **РЕГРЕССІЙНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ КОМПЛЕКСНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ**

**Naduty V.P.**, D. Sc. (Tech.), Professor,  
**Levchenko P. V.**, Ph.D. (Tech.),  
**Kostyrya S. V.**, Doctoral Student  
(IGTM NAS of Ukraine)

## **REGRESSION ANALYSIS OF COMPLEX IRON ORE DEHYDRATION**

**Аннотация.** Целью работы является определение эффективности обезвоживания железной руды путём варьирования параметрами обезвоживающего устройства и получение многофакторных регрессионных уравнений.

Предварительные исследования обезвоживания по данному комплексному методу показали обнадеживающие результаты.

В статье отражены результаты комплексного обезвоживания железной руды. В установке для обезвоживания используется три механических методов обезвоживания - вибрационный, вакуумный и электроосмотический. Определена степень влияния каждого метода на процесс обезвоживания. Установлены зависимости остаточной влаги и производительности обезвоживающего устройства от семи факторов: исходной влажности железной руды, площади поверхности обезвоживания, изменение давления в вакуумной камере, напряжения на электродах, частоты колебаний и угла наклона рабочего органа, а также от величины возмущающей силы. Значение работы состоит в определении наиболее эффективного режима обезвоживания измельченной железной руды и получение многофакторных регрессионных уравнений.

**Ключевые слова:** вибрация, железная руда, электроосмос, обезвоживание, комплексный метод, вакуумирование.

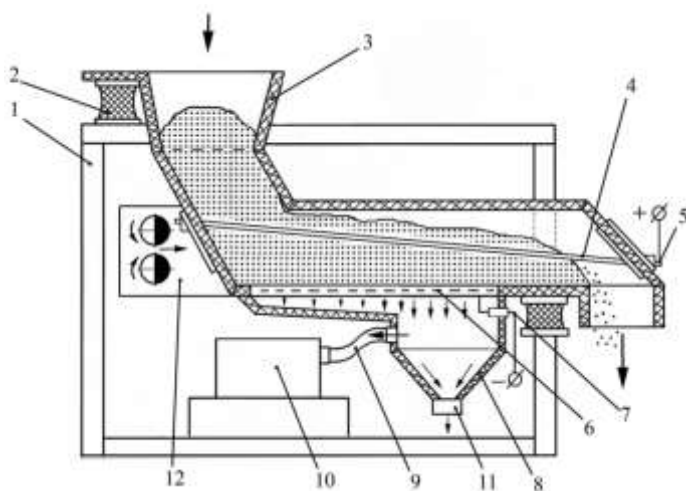
**Введение.** Разнообразные технологии обогащения предусматривают переработку полезных ископаемых в виде пульпы и последующее ее обезвоживание. В частности, в цикле переработке железной руды перед операцией агломерации необходимо снизить влажность исходного материала с целью уменьшения энергетических затрат, для этого создаются новые устройства и методы обезвоживания горной массы.

Вибрационный метод позволяет эффективно отбирать из горной массы внешнюю воду [1,2], вакуумный способ ускоряет этот процесс и дополнительно обезвоживает поровые каналы в горной массе [3], а также убирает перемычки влаги между частицами твердого остатка (так называемые перетяжки). Однако капиллярную влагу извлечь этими методами не удастся, поскольку силы поверхностного натяжения воды в капиллярах довольно велики [4].

**Целью данной работы** является определение эффективности обезвоживания железной руды по двум классам крупности: (+0,25-0,63мм) и (+0,63-1,6мм) путём варьирования параметрами обезвоживающего устройства и получение многофакторных регрессионных уравнений.

Разработанное авторами устройство позволяет выполнять комплексное обезвоживание горной массы, поскольку в нем одновременно используются три механизма обезвоживания (вибрационный, вакуумный и электрокинетический) на основе электроосмоса, основанный на процессах переноса влаги в обрабатываемом материале под влиянием постоянного тока [5,6]. Предварительные исследования обезвоживания по данному комплексному методу показали обнадеживающие результаты [7].

Экспериментальный образец установки для обезвоживания горной массы комплексным методом представлен на рис. 1 [8].



- 1 – опорная рама; 2 – упругие элементы; 3 – диэлектрический корпус; 4 – электропроводящий стержень; 5 – катод; 6 – перфорированная поверхность; 7 – анод; 8 – вакуумная камера; 9 – гибкий шланг; 10 – вакуумный насос; 11 – сливной патрубок

Рисунок 1 – Общий вид вибрационного устройства для комплексного обезвоживания горной массы

Принцип его работы следующий: в диэлектрический корпус 3 непрерывно поступает влажный материал, который постоянно контактирует с электрическим стержнем 4, к которому подключен катод 5. Благодаря постоянному контакту с электропроводящим стержнем, под воздействием постоянного тока, избыточная влага движется к перфорированной поверхности 6, которая также является анодом 7. Из-за разницы потенциалов обеспечивается движение воды и происходит электроосмотическое обезвоживание материала. На корпусе 3 установлен вибровозбудитель 12, с помощью которого производится непрерывное движение обезвоживаемого материала по перфорированной поверхности 6.

Так как перфорированная поверхность 6 расположена по всей длине устройства, увеличивается процесс удаления избыточной влаги. Разреженная среда создается в вакуумной камере 8 вакуумным насосом 10 соединенным с ней гиб-

ким шлангом 9. Избыточная влага выводится из вакуумной камеры 8 с помощью устройства для слива воды 11.

Для двух классов крупности ((+0,25-0,63 мм) и (+0,63-1,6 мм)) были проведены экспериментальные исследования по установлению влияния параметров обезвоживающего устройства на его основные технологические показатели – конечную влажность ( $W_{кон}$ , %) и производительность ( $Q$ , т/ч). При этом в качестве переменных факторов задавались следующие: исходная влажность материала ( $W_{исх}$ , %), угол наклона ( $\alpha$ , град.) и площадь поверхности обезвоживания ( $S$ , м<sup>2</sup>), возмущающая сила ( $F$ , кН) и частота вращения вала вибровозбудителя ( $\omega$ , об/мин), напряжение электропроводящего стержня ( $U$ , В), давление в вакуумной камере ( $P$ , МПа).

При работе предлагаемого устройства для комплексного обезвоживания железной руды с заданными технологическими показателями необходим правильный подбор режимных и конструктивных параметров, при которых бы удовлетворялись технологические требования. Поэтому возникла необходимость в разработке обобщённых регрессионных зависимостей технологических показателей работы устройства от всех доминирующих факторов и их комбинаций.

В ходе проведения опытов регулировался один из параметров при постоянных значениях других, а затем эксперименты повторялись при других значениях фиксированных переменных. Такой подход позволяет провести множественный регрессионный анализ (объём выборки составил 112 измерений) для установления статистической зависимости показателей процесса от всех переменных факторных признаков [9].

В качестве искомой многофакторной зависимости задавалось уравнение в следующем виде

$$Y = a_0 + \sum_i^n a_i \cdot x_i + \sum_i^n a_{ii} \cdot x_i^2 + \sum_{i < j}^n a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j,$$

где  $Y$  – функция отклика ( $W_{кон}$  и  $Q$ );  $a_0$  – свободный член уравнения;  $a_i$ ,  $x_i$ ,  $a_{ii} \cdot x_i^2$  – линейные и квадратичные слагаемые в виде произведений коэффициентов регрессии  $a_i$  на факторы  $x_i$ ;  $a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j$  – слагаемые парных произведений факторов;  $n$  – число переменных факторов. Расчёт данной модели методом наименьших квадратов производился средствами прикладного пакета обработки статистических данных SPSS Statistics с применением встроенной функции “Шаговый отбор”. При работе данного алгоритма независимые переменные ( $x_i$ ), которые имеют наибольшие коэффициенты частичной корреляции с зависимой переменной ( $Y$ ), пошагово включаются в регрессионное уравнение [10]. После каждого шага оценивалась адекватность полученной модели  $F$  (статистика Фишера) и коэффициент детерминации  $R^2$ , а факторы, коэффициенты регрессии которых по статистике Стьюдента оказывались незначимыми ( $t_{tabl} \geq t_{ai}$ ), исключались из регрессионной зависимости без особого влияния на результативный признак. По знаку коэффициента регрессии  $a_i$  можно определить влияния соответствующего фактора  $x_i$  на функцию: положительный знак свидетельствует о

возрастании функции при увеличении фактора  $x_i$ , отрицательный – о снижении, а абсолютное значение коэффициента  $a_i$  показывает, на сколько измениться результативный признак при изменении соответствующего фактора на единицу.

В результате расчёта были получены следующие многофакторные регрессионные уравнения:

– для крупности +0,25-0,63мм:

$$W_{kon} = -7,147 - 4,52 \cdot S - 0,0082 \cdot \omega - 0,012 \cdot V + 88,142 \cdot F - 0,0066 \cdot W_{ucx}^2 + R^2=0,991; \\ + 2,618 \cdot S^2 + 4438,222 \cdot p^2 - 0,132 \cdot W_{ucx} \cdot S + 0,0002 \cdot W_{ucx} \cdot \omega + 0,06 \cdot S \cdot p - \\ - 1365,368 \cdot F \cdot p + 0,767 \cdot \alpha \cdot p \quad F=563,5$$

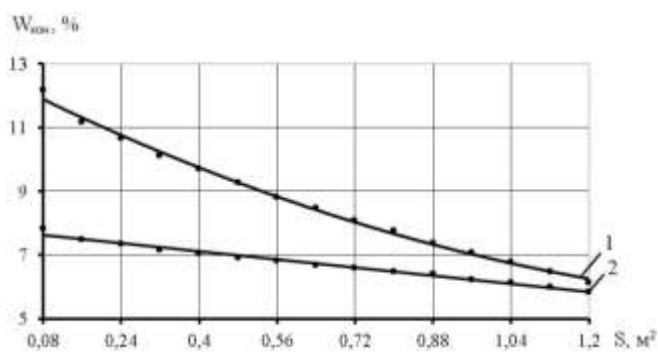
$$Q = -0,222 - 2,522 \cdot F + 0,001 \cdot \omega + 0,112 \cdot \alpha + 2,199 \cdot F^2 - 0,002 \cdot \alpha^2 - R^2=0,996; \\ - 9,94 \cdot 10^{-8} \cdot \omega^2 \quad F=864,7$$

– для крупности +0,63-1,6мм:

$$W_{kon} = -2,151 + 0,361 \cdot W_{ucx} - 0,287 \cdot S - 0,003 \cdot \omega - 0,01 \cdot V + 56,596 \cdot F - R^2=0,98; \\ - 0,003 \cdot W_{ucx}^2 - 0,01 \cdot \alpha^2 + 2712,41 \cdot p^2 - 0,038 \cdot W_{ucx} \cdot S - 0,0008 \cdot W_{ucx} \cdot \omega + \\ + 0,044 \cdot S \cdot \alpha - 870,215 \cdot F \cdot p + 5,827 \cdot \alpha \cdot p \quad F=257,4$$

$$Q = -1,39 + 0,001 \cdot \omega - 9,37 \cdot 10^{-8} \cdot \omega^2 + 1,737 \cdot F^2 - 0,003 \cdot \alpha^2 + 0,31 \cdot F \cdot \alpha \quad R^2=0,994; \\ F=763,8$$

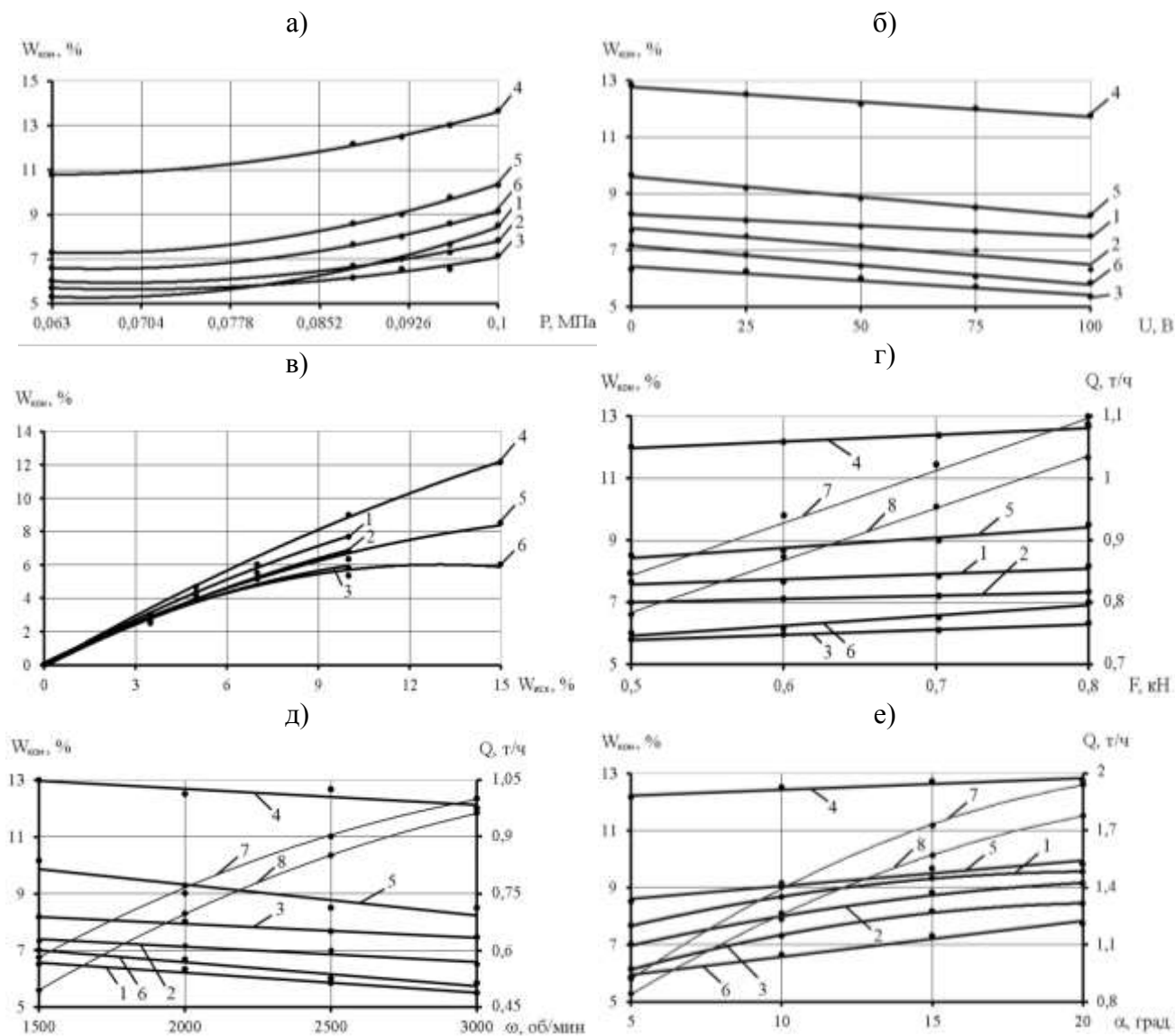
На рисунке 2 представлены экспериментальные значения (точки) конечной влажности железной руды двух классов крупности от суммарной площади поверхности обезвоживания и полученные расчетным путём кривые данной зависимости.



1 – крупность (+0,25-0,63мм); 2 – крупность (+0,63-1,6мм)

Рисунок 2 – Зависимость остаточной влажности от площади поверхности обезвоживания

Экспериментальные и рассчитанные значения остаточной влажности и производительности устройства от комплекса переменных параметров при обезвоживании железной руды представлен на рис. 3. В сериях экспериментов постоянными значениями факторов были следующие:  $\omega=3000$  об/мин;  $F=0,5$  кН;  $\alpha=5$  град.;  $P=0,063$  МПа;  $U=75$  В;  $W_{ucx}=15$  % для крупности (+0,25-0,63мм) и  $W_{ucx}=10$  % для крупности (+0,63-1,6мм).



крупность (+0,63-1,6мм): 1 –  $S=1,2 \text{ м}^2$ ; 2 –  $S=0,56 \text{ м}^2$ ; 3 –  $S=0,08 \text{ м}^2$ ; 7 –  $f(Q)$   
 крупность (+0,25-0,63мм): 4 –  $S=1,2 \text{ м}^2$ ; 5 –  $S=0,56 \text{ м}^2$ ; 6 –  $S=0,08 \text{ м}^2$ ; 8 –  $f(Q)$

Рисунок 3 – Зависимость остаточной влажности от комплекса параметров

Полученные регрессионные зависимости второго порядка с перекрестными членами с высоким уровнем достоверности и адекватности описывают полученные экспериментальные данные, что подтверждают высокие значения расчётных статистик Фишера  $F$  и коэффициенты детерминации  $R^2$ . Таким образом, данные модели позволяют подбирать рациональные конструктивные и режимные параметры устройства для обезвоживания при адаптации его к промышленным условиям эксплуатации, а также на стадии проектирования.

**Выводы.** Научное значение результатов исследований заключается в определении эффективности использования устройства для комплексного обезвоживания измельченной влажной железной руды и определение возможности обезвоживания с помощью электрокинетического метода с использованием электроосмоса.

Практическое значение состоит в определении влияния семи факторов на процесс обезвоживания: изменения площади перфорированной, изменение давления в вакуумной камере и напряжения на, влияние исходной влажности и изменение частоты, величина возмущающего усилия и угол наклона рабочего органа влияют на процесс обезвоживания.

Установлена зависимость производительности от варьируемых параметров (угла наклона, частоты вращения и возмущающей силы).

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Надутый, В.П. Исследование кинетики обезвоживания при вибрационном грохочении / В.П. Надутый, Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко // Збагачення корисних копалин : Наук.-техн. зб. / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ. - 2012. – Вип. 49(90). – С. 112-120.
2. Надутый, В.П. Влияние вибраций на статическое положение мениска движущейся в капилляре жидкости / В.П. Надутый, В.И. Елисейев, В.И. Луценко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" : Зб. наук. праць. Тематичний випуск "Хімія, хімічна технологія та екологія". – Харків: НТУ "ХПІ". - 2011. – № 59. – С. 104-111.
3. Антипов, С.Т. Кинетика процесса вакуумной сушки в непрерывном режиме / С.Т. Антипов, С.В. Шахов, И.О. Павлов // Вестник Международной академии холода. – 2000. – № 1. – С. 8-12.
4. Голикова, Е.В. О корреляции агрегативной устойчивости и интегральных поверхностных характеристик / Е.В. Голикова, Ю.М. Чернобережский, О.М. Иогансон // Коллоидн. Журнал. - 2000. - Т. 62. № 5. С. 596-605.
5. Надутый, В.П. Результаты комплексного обезвоживания горной массы на вибрационном устройстве / В.П. Надутый, В.В. Сухарев, С.В. Костыря // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця. - 2014. – Вип. 1(73). – С. 88-93.
6. Тихомолова, К.П. Электроповерхностные свойства кварца в растворах при разном времени контакта / К.П. Тихомолова, И.Н. Уракова // Вестн. СПбГУ. Сер. 4. - 2002. - Вып. 3 (20). - С.913-919.
7. Надутый, В.П. Обоснование эффективности использования комплексного метода обезвоживания мелкой влажной горной массы / В.П. Надутый, В.В. Сухарев, С.В. Костыря // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск. – 2014. – Вып. 119. - С. 63-69.
8. Патент на корисну модель № 92897, UA, МПК В 01 D 61/56 (2006.1). Пристрій для зневоднення. Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В. – Заявка № 2014 03 312; Заявл. 01.04.2014, Опубл. 10.09.2014. Бюл. № 17. – 4 с.
9. Фролов, В.С. Приготовление, дозирование и подача порошкообразных флокулянтов в технологическом процессе углеобогащения // В.С. Фролов // Обезвоживание. Техника. - 2002. - №5. - С. 30-31.
10. Бююль, А. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: Пер. с нем. / А. Бююль, П. Цефель – СПб.: ООО «ДиасофтЮП», 2005. – 608 с.

#### REFERENCES

1. Nadutyu, V.P., Lapshin, Ye. S. and Shevchenko, A.I. (2012), " Kinetics of dehydration during vibratory screening of ", *Zbahachennya korysnykh kopalyn*, no. 49(90), pp. 112-120.
2. Nadutyu, V.P., Yeliseyev, V.I. and Lutsenko, V.I. (2011), " Influence of vibrations on the static position of the meniscus in the capillary fluid moving ", *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu "Kharkivsky politekhnichny instytut"*, no. 59, pp. 104-111.
3. Antipov, S.T., Shakhov, S.V. and Pavlov, I.O. (2000), " Kinetics vacuum drying process in a continuous mode ", *Vestnik Mezhdunarodnoy Akademii Kholoda*, no. 1, pp. 8-12.
4. Golikova E.V., Chernoberejskiy U.M., Ioganson O.M. (2000), "Correlation aggregate stability and integral surface characteristics", *Kolloidn. Jurnal*, vol. 62, №5, pp. 596-605.
5. Nadutyu, V.P., Sukharev, V.V. and Kostyrya, S.V. (2014), "The results of complex dehydration of the rock mass on the vibrating device ", *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnologiyakh*, no. 1(73), pp. 88-93.
6. Tihomolova, K.P. and Urakhova, I.N. (2002 ), "Electrosurface properties of quartz in solutions with different contact times", *Vestnik SPGU*, Ser. 4, no 3(20), pp. 913-919.
7. Nadutyu, V.P., Sukharev, V.V. and Kostyrya, S.V. (2014), " Substantiation of efficiency of a complex method of dehydration shallow wet rock mass", *Geotekhnicheskaya Mekhanika [Geo-Technical Mechanics]*,