

11. Концептуальные основы разработки и внедрения комплексной системы управления работой шахт / Е.Д. Дубов, Т.Е. Ализаев, Э.С. Халабузарь, Е.П. Мухин, П.Е. Мухин, Л.С. Лямина // Работы ДонУГИ: Сб. научн. трудов. – 2007. - Вып. 105. – С. 17-30.

12. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-05. - [Чинний від 2005-03-23].- Київ: Мінвуглепром України, 2005. – 154 с. (Нормативний документ Мінвуглепрому України).

13. Правила технічної експлуатації вугільних шахт: СОУ10.1-00185790-002-2005. - [Чинний від 2006-11-14]. – Київ: Мінвуглепром.

14. «Гірничий закон України». Електроний ресурс. Режим доступу: zakon.rada.gov.ua/go/1127-14.

УДК 622.74: 621.928.235

Инженер В.П. Левченко
(ИГТМ НАН Украины)

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА ОТ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ

На основі апроксимації результатів експериментальних досліджень залежності продуктивності вертикального вібраційного грохота від режимних параметрів при класифікації гірської маси, отримана узагальнена регресійна модель роботи грохоту

THE REGRESSION ANALYSIS OF DEPENDENCE OF A VERTICAL VIBRATING SCREEN PRODUCTIVITY FROM MODE PARAMETERES

The generalized regression model of screen work is obtained on the basis of the approximation of experimental researches results of a vertical vibrating screen productivity by varying the mode parameters

Одной из важнейших и широко применяемых технологических операций при переработке и обогащении полезных ископаемых является процесс классификации материалов по крупности на вибрационных грохотах. Возрастающие требования потребителей, обусловленные изменениями в сырьевой и экономической ситуации страны, наряду с низкими энергозатратами грохотов, сужают рамки их технических (металлоемкость) и геометрических (занимаемая площадь) характеристик при высоких технологических показателях. Кроме этого из-за наличия большого типоразмерного ряда конструкций грохотов на предприятиях, отсутствует универсальность их применения в разнообразных условиях эксплуатации.

Разработанная в Институте геотехнической механики НАН Украины конструкция вертикального вибрационного грохота (ВВГ) [1] удовлетворяет описанным выше требованиям за счет сниженной металлоемкости и занимаемой площади. При этом снижается мощность вибрационного привода по сравнению с серийно выпускаемыми грохотами в несколько раз при той же площади просеивающей поверхности (при массе машины в 1,3 т потребляемая приводом мощность составила всего лишь 0,74 кВт, при 3,2 м² просеивающей поверхности). Кроме этого, за счет своих конструктивных особенностей и динамической схемы, на рабочем органе машины реализуется специальный полигармонический режим работы сита, при котором достигаются высокие технологические показатели. Данное утверждение подтверждают результатами экспериментальных исследований [2-6].

Для моделирования процесса классификации вертикального вибрационного грохота потребуется установление аналитических зависимостей технологических показателей: эффективности грохочения E , % и производительности грохота (по исходному питанию) Q , $m/ч$ от основных факторов, влияющих на процесс разделения материалов по крупности.

Целью работы является регрессионный анализ зависимости производительности вертикального вибрационного грохота от режимных параметров.

При исследованиях режимные параметры, и пределы их регулирования, были приняты следующие:

- A – амплитуда колебаний короба грохота, мм (1...4);
- ω – частота вращения вала вибровозбудителя, об/мин (1300...2100);
- β – угол наклона плоскости вращения дебалансных масс относительно горизонта, град. (0...90).

В ходе исследований варьировались вышеперечисленные факторы при постоянных значениях конструктивных параметров ВВГ: 1) суммарная длина просеивающей поверхности $L = 3,2$ м; 2) пропускная способность бункера-питателя $q = 2$ $m/ч$; 3) угол наклона просеивающей поверхности относительно горизонта $\alpha = 8$ град; 4) размер ячейки резонирующего ленточно-струнного сита $d = 3$ мм. Разделение по крупности производилось сухого шлакового отсева (класс -10мм) плотностью $\rho = 2$ $г/см^3$.

Для установления индивидуального влияния каждого из варьируемых факторов на производительность грохота (функция отклика) был выполнен парный регрессионный анализ, а для общего влияния всех параметров – множественный.

Зависимость производительности ВВГ от амплитуды колебаний грохота (A) идентифицировалась нелинейным регрессионным уравнением второго порядка на основании 36-ти экспериментальных наблюдениях, при которых помимо амплитуды колебаний варьировалась частота вращения вала вибровозбудителя (ω) и угол наклона плоскости вращения дебалансных масс относительно горизонта (β). Расчётная зависимость имеет вид:

$$Q = -2,413 + 0,002 \cdot \omega - 0,007 \cdot \beta + 0,086 \cdot A^2.$$

Высокий коэффициент детерминации $R^2 = 0,919$ показывает, что 91,9% вариаций Q объясняется влиянием учтённых в модели факторов. Статистика Фишера $F = 121,4$ свидетельствует об адекватности регрессионного уравнения экспериментальным данным. Коэффициенты регрессии значимы, т.к. значительно превышают табличное значение Стьюдента ($t_{A^2} = 13,37$, $t_{\omega} = 11,83$ и $t_{\beta} = 4,66$). Коэффициент регрессии при A имел низкий уровень значимости ($t_A = 0,75$) и был исключен из уравнения.

Парная регрессия рассчитывалась при фиксированных параметрах $\omega = 1700$ об/мин и $\beta = 45$ град. Получено следующее уравнение:

$$Q = 0,672 + 0,086 \cdot A^2.$$

Сравнение экспериментальных данных и расчетной зависимости производительности грохота от амплитуды колебаний корпуса при различных вариациях параметров представлено на рис. 1.

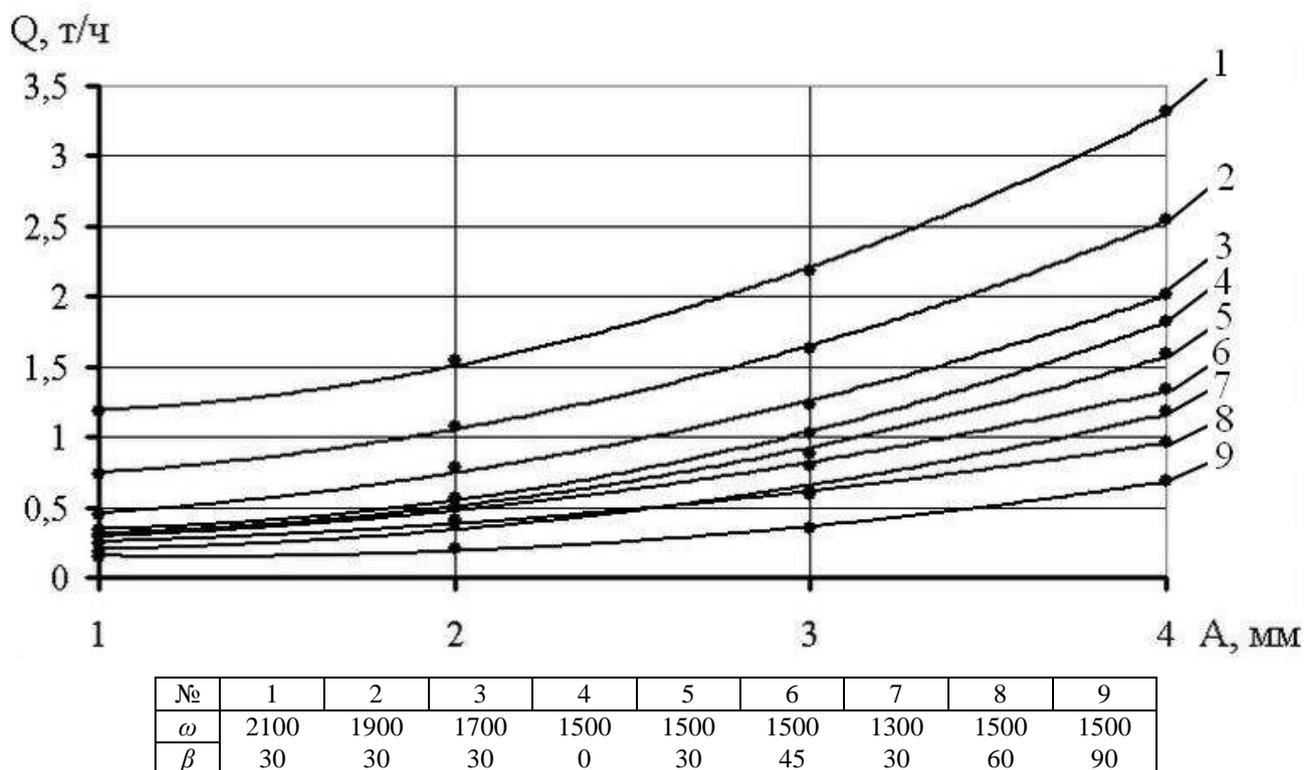


Рис. 1 – Зависимость производительности ВВГ от амплитуды колебаний корпуса

Идентификация зависимости производительности грохота от угла наклона плоскости вращения дебалансных масс относительно горизонта (β) при различных вариациях A и ω производилась нелинейной регрессионной зависимостью (объем выборки составил 40 измерений):

$$Q = -1,956 + 0,339 \cdot A + 0,001 \cdot \omega - 0,00007 \cdot \beta^2.$$

Основные статистические характеристики этой зависимости: коэффициент детерминации $R^2 = 0,899$, статистика Фишера $F = 107,2$, коэффициенты надёжности коэффициентов регрессии: $t_A = 11,2$, $t_\omega = 12,9$ и $t_{\beta^2} = 8,2$. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и степенях свободы $\nu_1 = 3$ и $\nu_2 = 36$, табличное значение статистики Фишера $F_{tabl} = 8,6$, которое намного меньше расчётного, свидетельствует об адекватности принятой зависимости экспериментальным данным, а критическое значение статистики Стьюдента $t_{tabl} = 2,03$ доказывает значимость коэффициентов регрессии [7]. Из уравнения исключен коэффициент при переменной β ($t_\beta = 0,77$).

При установлении частного влияния параметра β на производительность

грохота, с фиксированными значениями остальных, входящих в модель параметров ($A=2\text{мм}$ и $\omega=1700\text{ об/мин}$), получена статистическая модель:

$$Q = 0,422 - 0,00007 \cdot \beta^2.$$

На рис. 2 в виде графиков представлена экспериментальная и расчетная зависимость $Q = f(\beta)$ при различных вариациях остальных параметров.

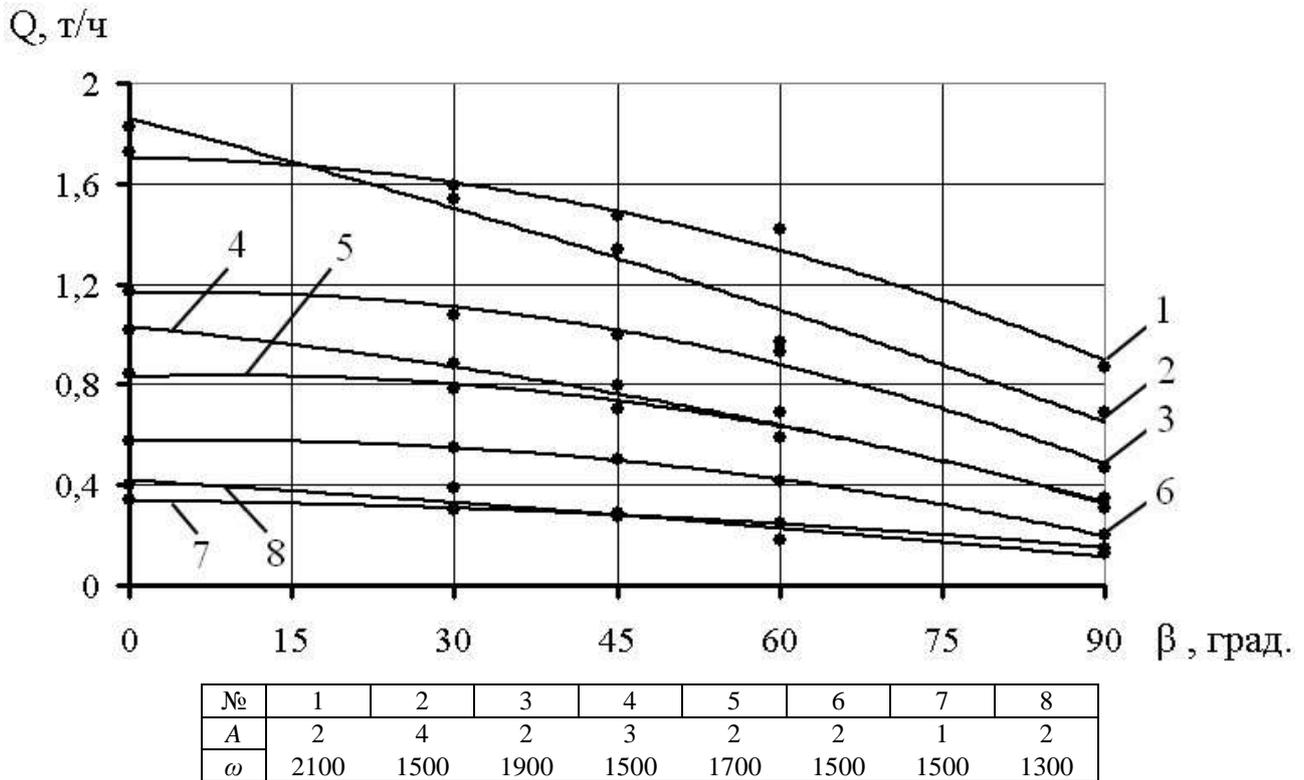


Рис. 2 – Зависимость производительности ВВГ от угла наклона плоскости вращения дебалансных масс относительно горизонта

При обработке 40 измерений экспериментальной зависимости производительности грохота по исходному питанию от частоты вращения вала вибровозбудителя (ω) получена следующая статистическая модель:

$$Q = -1,361 + 0,535 \cdot A - 0,007 \cdot \beta + 0,0000005 \cdot \omega^2,$$

коэффициент детерминации $R^2 = 0,922$ и статистика Фишера $F = 142,02$, которой подтверждают вид принятой зависимости. Коэффициенты регрессии $t_A = 13,6$, $t_\beta = 5,2$ и $t_{\omega^2} = 14$ превышают табличное значение статистики Стьюдента $t_{\text{табл}} = 2,03$ и являются значимыми, в отличие от линейного члена уравнения относительно ω , который был исключен из уравнения $t_\omega = 1,49$.

Для установления индивидуального влияния параметра ω на производительность остальные факторы были приняты на следующих уровнях $A = 2\text{ мм}$ и $\beta = 45\text{ град.}$, и получена такая зависимость:

$$Q = -0,606 + 0,0000005 \cdot \omega^2.$$

Наглядно данная зависимость и экспериментальные значения при различных значениях факторов изображена на рис. 3.

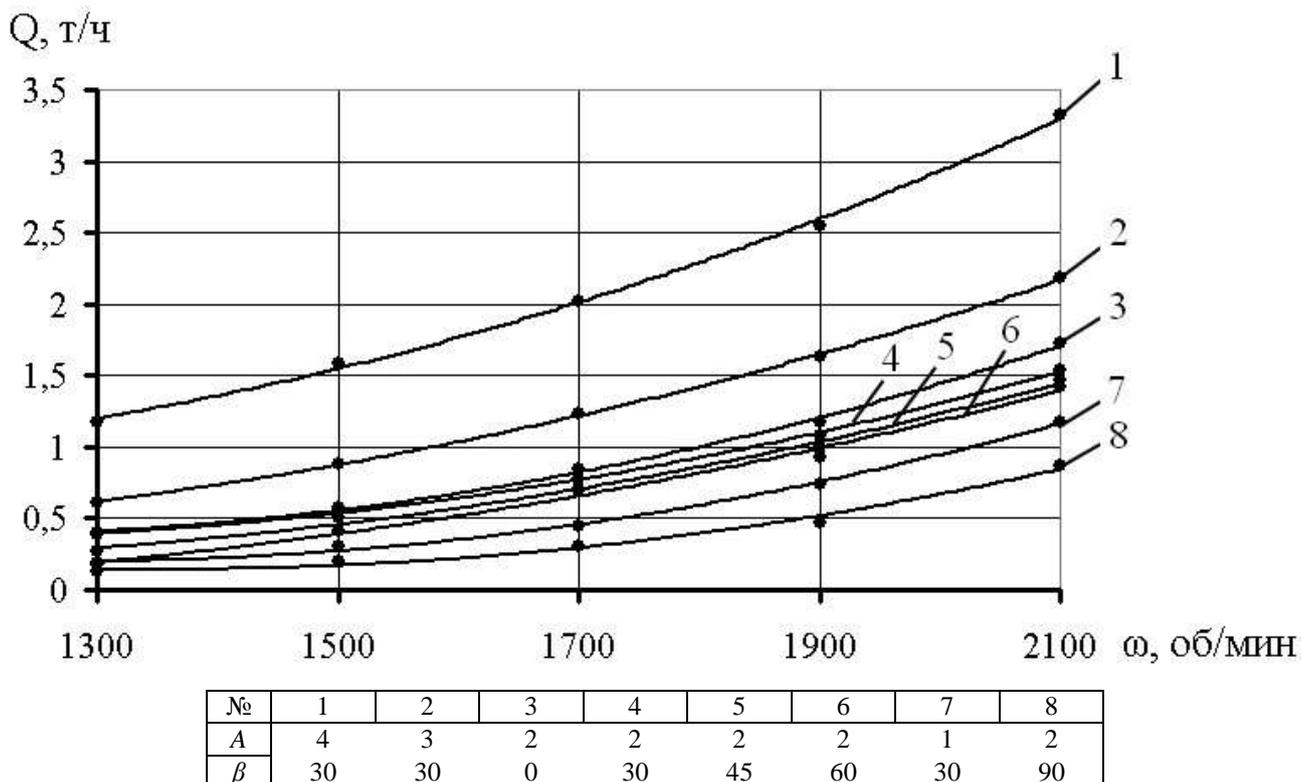


Рис. 3 – Зависимость производительности ВВГ от частоты вращения вала вибровозбудителя

Подбор рациональных параметров работы грохота на стадии проектирования или адаптации к конкретным условиям эксплуатации осуществляется путем моделирования технологического процесса. Для этого необходимо получить обобщённую регрессионную модель зависимости производительности от режимных параметров вертикального вибрационного грохота в исследуемых пределах. Объем выборки – 53 измерения. Данную модель будем представлять в виде регрессионной зависимости второго порядка с учётом взаимного влияния факторов следующего вида:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + \dots + a_n \cdot x_n + b_1 \cdot x_1^2 + \dots + b_n \cdot x_n^2 + c_1 \cdot x_1 \cdot x_2 + c_2 \cdot x_1 \cdot x_3 + \dots + c_k \cdot x_{n-1} \cdot x_n,$$

где y – функция отклика (производительность); a_0 – свободный член уравнения; $a_i \cdot x_i$, $a_i \cdot x_i^2$ – 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; $n = 3$ – число переменных факторов. Общее количество слагаемых уравнения регрессии составило $m = 9$. 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 (Q), пошагово включаются в регрессионное уравнение [8]. 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 ($t_{\text{tabl}} \geq t_{\text{ai}}$), исключались из регрессионной зависимости без особого влияния на результативный признак Q . По знаку коэффициента регрессии a_i можно определить влияния соответствующего фактора x_i на эффективность грохочения: положительный знак свидетельствует о возрастании функции Q при увеличении фактора x_i , отрицательный – о снижении, а абсолютное значение коэффициента a_i показывает, на сколько изменится результативный признак при изменении соответствующего фактора на единицу. В итоге получена обобщённая математическая модель вида:

$$Q = 2,533 - 0,768 \cdot A - 0,003 \cdot \omega + 0,019 \cdot \beta + 0,0005 \cdot A \cdot \omega - 0,004 \cdot A \cdot \beta - 0,000007 \cdot \omega \cdot \beta + 0,109 \cdot A^2 + 0,000001 \cdot \omega^2 - 0,00005 \cdot \beta^2$$

Данное уравнение адекватно описывает полученные экспериментальные данные, что подтверждает расчётная статистика Фишера $F = 552,4$, которая намного больше своего табличного значения $F_{\text{tabl}} = 3,76$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,991$ показывает, что изменчивость функции Q почти полностью характеризуется разбросом учтённых в модели факторов. Коэффициенты регрессии и их статистика, представленные в табл.1 превышают критическое значение Стьюдента $t_{\text{tabl}} = 2,01$.

Таблица 1 – Расчётные значения коэффициентов регрессии и их надёжности

Переменная	A	ω	β	A ω	A β	$\omega\beta$	A ²	ω^2	β^2
Коэффициент регрессии	-0,768	-0,003	0,019	0,0005	-0,004	$-7 \cdot 10^{-6}$	0,109	10^{-6}	$-5 \cdot 10^{-5}$
$t_{\text{расч}}$	9,1	6,5	6,6	12	9,5	5,1	10,9	8,1	4,4

Выводы. В ходе проведенных исследований были установлены парные и множественные регрессионные зависимости производительности вертикального вибрационного грохота от угла наклона плоскости вращения дебалансных масс вибровозбудителя, частоты их вращения и амплитуды колебаний корпуса. Получена обобщенная математическая модель в виде нелинейной регрессионной зависимости производительности грохота от режимных параметров. Расчётная зависимость с высокой точностью и адекватностью описывает полученные ранее экспериментальные данные. Следовательно, она позволяет прогнозировать рациональные показатели машины в условиях ее эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. № 53632 UA, МПК⁸ В 07 В 1/40 (2006.01). Вертикальный вибраційний грохот / Надутий В.П., Левченко

нко П.В., Кіжло Л.А.; заявник і патентовласник ІГТМ НАНУ; Заявл. 26.04.2010; Опубл. 11.10.2010, Бюл. №19. – 3 с.

2. Надутый В.П. Определение зависимости эффективности грохочения от конструктивных параметров вертикального вибрационного грохота / В.П. Надутый, П.В. Левченко // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 45 (86). – С. 43–48.

3. Надутый В.П. Результаты экспериментальных исследований зависимости производительности вертикального вибрационного грохота от его конструктивных параметров/ В.П. Надутый, П.В. Левченко// Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Укр. міжвід. наук.-техн. зб. держ. ун-ту "Львівська політехніка". – Львів. – 2011. – Вип. 45. – С.24–29.

4. Надутый В.П. Влияние режимных параметров на производительность вертикального вибрационного грохота / В.П. Надутый, П.В. Левченко, И.П. Хмеленко // Научно-технический сборник НТУ "ХПИ" 2011. – Вып. № 50. – С. 114-120.

5. Франчук В.П. Определение зависимости эффективности грохочения от режимных параметров вертикального вибрационного грохота/ В.П. Франчук, В.П. Надутый, П.В. Левченко// Вібрації в техніці та технології: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2011. – Вип. 2(62). – С. 73–76.

6. Надутый В.П. Влияние характеристик горной массы на эффективность классификации вертикального вибрационного грохота/ В.П. Надутый, П.В. Левченко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ. – 2011. – Вип. 93. – С. 81-86.

7. Кухарев В.Н. Экономико-математические методы и модели в планировании и управлении: Учебник / В.Н. Кухарев, В.И. Салли, А.М. Эрперт. – К.: Выща шк., 1991.–303с.

8. Бююль А., Цефель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: Пер. с нем. – СПб.: ООО «Диа-СофтЮП», 2005. – 608 с.

УДК 622.284:678.029.46

Канд. техн. наук С.П. Мусиенко
(ІГТМ НАН України)

К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ГЕОКОМПОЗИТНЫХ ОХРАННЫХ СИСТЕМ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

У статті розглянуто відмінності використання особливо тонко дисперсних в'язучих (ОТДВ) у підземних умовах для створення елементів геокомпозитних конструкцій

TO DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF ERECTION GEOCOMPOSIT SECURITY SYSTEMS OF MINE WORKINGS

In article the differences of the use especially thinly of dispersible astringent are considered in underground terms for creation elements of geocomposit constructions

Крепление выработок на больших глубинах в сложных горно-геологических условиях не может быть эффективным при использовании только одного вида крепи. Задача специалистов в области геомеханики состоит в создании адаптивных комбинированных охранных систем, базирующихся на эффекте синергизма (взаимного усиления действия отдельно взятых элементов системы), в которых геокомпозитные конструкции будут являться ключевыми звеньями

Укрепление трещиноватого массива в ближней приконтурной зоне выработок путем инъектирования твердеющих растворов можно отнести к технологии созданию геокомпозитных конструкций. При этом структура расположения армирующих элементов в матрице определяется детерминированной составляющей, в соответствии со схемой расположения шпуров для установки инъекторов и случайной – определяемой положением трещин в массиве. Зарубежный опыт в указанном направлении представлен преимущественно использованием полимерных материалов: в Польше - дьюрафоама, визофоама, в Германии -