

Д-р техн. наук В.П. Надутый,
канд. техн. наук А.М. Эрперт,
вед. инж. В.Ф. Ягнюков
(ИГТМ НАН Украины)

**МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА
НА ВАЛКОВОМ ГРОХОТЕ ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

На основі виконаних раніше експериментальних досліджень розроблена модель залежності ефективності класифікації валкового грохота від конструктивних і технологічних параметрів.

**MODELING REPRESENTATION OF DEPENDENCES EFFICIENCY
OF CLASSIFICATION OF THE LOOSE MATERIAL
ON THE ROLLER SCREEN FROM CONSTRUCTIVE
AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS**

On the basis of executed before experimental researches the model of dependence of efficiency of classification a roller roar from constructive and technological parameters is developed.

Анализ литературных источников по опыту создания и эксплуатации валковых классификаторов (грохотов) показывает высокую эффективность их использования в горной промышленности. С участием авторов выполнен ряд исследований по установлению зависимости удельной производительности этих машин от их режимных, конструктивных параметров и свойств классифицируемой горной массы. Это позволило определить возможность адаптации машин к конкретным условиям эксплуатации и наметить пути их дальнейшего совершенствования [1, 2].

Учитывая требования технологии переработки горной массы и недостаточно полную изученность влияния различных параметров валкового классификатора и свойств перерабатываемой массы на эффективность классификации, были выполнены экспериментальные исследования зависимости эффективности классификации от угла наклона рабочего органа φ (град.), частоты вращения валков ω (об/мин.), влажности сыпучего материала W (%), содержания подрешетного класса крупности в исходном материале α (%), зазора между валками d (мм) и удельной нагрузки на грохот Q (т/ч·м²). Результаты этих исследований представлены в работе [2, 3, 4].

Целью дальнейших исследований являлось определение аналитической зависимости эффективности от каждого из перечисленных факторов, основываясь на полученных ранее экспериментах, общий объем которых составил более 160. Диапазон значений варьируемых параметров приведен в табл.1.

Таблица 1 – Диапазон значений варьируемых параметров классификатора

Наименование варьируемых параметров	φ , град	ω , об/мин.	W , %	α , %	d , мм	Q , т/ч·м ²
Диапазон значений параметров	2-28	500-900	0-14	5-70	1-3	0,5-3,0

При проведении экспериментов варьировался один из параметров при фиксированных значениях других, что позволило выявить индивидуальное влияние каждого из факторных признаков на эффективность грохочения.

По результатам экспериментальных исследований был выполнен как парный, так и множественный регрессионный анализ. Целью парного анализа было определение характера зависимости эффективности классификации сыпучего материала от одного из варьируемых параметров. Множественный регрессионный анализ позволил получить статистическую модель функционирования валкового грохота.

Зависимость эффективности грохочения E от угла наклона определялась по объему выборки экспериментальных данных из 18 наблюдений. После опробования ряда регрессионных моделей была отобрана параболическая зависимость:

$$E = 15,73 + 1,941\varphi - 0,067\varphi^2.$$

Коэффициенты регрессии значимы при уровне значимости 0,1. Имеет место большое значение остаточной дисперсии, из-за чего критерий адекватности Фишера дает низкий уровень адекватности.

Графическая зависимость эффективности грохочения от угла наклона представлена на рис. 1. Из рисунка видно, что экстремальное значение эффективности грохочения принимает при угле наклона $\varphi = 16^\circ$.

При расчете регрессии остальные параметры грохота фиксировались на следующих уровнях: $\omega = 700$ об/мин; $W = 0$ %; $\alpha = 50$ %; $d = 2$ мм; $Q = 2,5$ т/ч·м².

Зависимость эффективности грохочения E от частоты вращения валков определялась по объему экспериментальной выборки из 22 наблюдений, и после опробования ряда регрессионных моделей отобрана параболическая зависимость:

$$E = -25,24 + 0,1203\omega - 0,000082\omega^2.$$

Наблюдалось большое остаточное рассеяние, из-за чего коэффициенты регрессии имеют низкий уровень значимости.

Графически зависимость эффективности грохочения от частоты вращения валков представлена на рис. 2. Из рисунка видно, что экстремальное значение эффективности грохочения принимает при частоте вращения валков $\omega = 750$ об/мин.

При расчете регрессии остальные параметры грохота фиксировались на следующих уровнях: $\varphi = 8^\circ$; $W = 6$ %; $\alpha = 50$ %; $d = 2$ мм; $Q = 2,5$ т/ч·м².

Зависимость эффективности грохочения E от влажности сыпучего материала определялась по объему экспериментальной выборки из 21 наблюдения. Из

регрессионных моделей наибольшим соответствием обладает параболическая зависимость:

$$E = 31,59 + 0,382W - 0,148W^2.$$

Значимым в этой модели является коэффициент регрессии при квадратичном слагаемом: линейное слагаемое – незначимое. По критерию Фишера подтверждена высокая адекватность модели при уровне значимости 0,05. Графически зависимость эффективности грохочения от влажности материала представлена на рис. 3. Из рисунка видно, что по мере увеличения влажности эффективность грохочения снижается, причем, начиная с влажности $W = 6\%$, это уменьшения становится весьма существенным.

При расчете регрессии остальные параметры грохота фиксировались на следующих уровнях: $\varphi = 8^\circ$; $\omega = 700$ об/мин; $\alpha = 50\%$; $d = 3$ мм; $Q = 2,5$ т/ч·м².

Для определения зависимости эффективности грохочения E от содержания подрешетного класса крупности в исходном материале объем выборки составил 40 наблюдений, и из возможного ряда регрессионных моделей выбрана параболическая зависимость:

$$E = 20,993 - 0,084\alpha + 0,000716\alpha^2.$$

Из-за большого рассеяния статистических данных коэффициенты регрессии имеют низкий уровень значимости.

Графически полученная зависимость представлена рис. 4. Содержание подрешетного класса крупности варьировалось в пределах 10...70 %. Из рисунка видно, что по мере увеличения α эффективность снижается, принимая значение ≈ 19 в диапазоне $\alpha = 40...70\%$.

При расчете регрессии остальные параметры грохота фиксировались на следующих уровнях: $\varphi = 14^\circ$; $W = 2,5\%$; $\omega = 700$ об/мин; $d = 2,5$ мм; $Q = 2,5$ т/ч·м².

Влияние от зазора между валками на эффективность грохочения E определялось по наблюдениям 10 экспериментов. При этом зазор варьировался в диапазоне 1-3 мм, и полученная зависимость наиболее адекватно описывается линейной регрессионной моделью:

$$E = 12,6 + 4,2d.$$

Коэффициенты регрессии имеют высокий уровень значимости; критерий Фишера подтверждает хорошую адекватность модели при уровне значимости 0,05.

Графически зависимость эффективности грохочения от зазора между валками представлена на рис. 5. Из рисунка видно, что по мере увеличения зазора эффективность заметно увеличивается: прирост эффективности составляет 4,2 единицы на каждый миллиметр прироста зазора.

При расчете модели остальные параметры грохота фиксировались на сле-

дующих уровнях: $\varphi = 14^\circ$; $W = 2,5 \%$; $\omega = 700$ об/мин; $\alpha = 50 \%$; $Q = 2,5$ т/ч·м².

Характер зависимости эффективности грохочения E от удельной нагрузки на грохот определялся на основании выборки из 54 экспериментов. Нагрузка задавалась в пределах 1-3 т/ч·м². Наиболее адекватно изучаемую зависимость описывает линейная регрессионная модель:

$$E = 15,21 + 5,023Q.$$

Коэффициенты регрессии имеют высокий уровень значимости; Подтверждена также хорошая адекватность этой модели по критериям Фишера.

Графически исследуемая зависимость представлена на рис. 6. Из рисунка видно, что по мере увеличения нагрузки на грохот в заданном диапазоне значений эффективность грохочения заметно возрастает.

При расчете модели остальные параметры грохота фиксировались на следующих значениях: $\varphi = 14^\circ$; $W = 2,5 \%$; $\omega = 700$ об/мин; $\alpha = 50 \%$; $d = 2$ мм.

Выполненный объем исследований позволяет получить обобщенную модель зависимости эффективности грохочения от конструктивных и технологических параметров грохота, поскольку именно такая модель может дать интегральную оценку работы машины и позволяет подобрать рациональные ее параметры при проектировании или адаптации к конкретным условиям эксплуатации. Основываясь на объединенных статистических данных для анализа, была получена обобщенная параболическая модель вида:

$$\hat{y} = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_mx_m + b_1x_1^2 + \dots + b_mx_m^2 + c_1x_1x_2 + c_2x_1x_3 + \dots + c_kx_{m-1}x_m.$$

В модели y – результативный признак (эффективность грохочения); x_i – i -й факторный признак (параметры грохота). Таким образом, модель содержит линейные слагаемые (коэффициенты регрессии a_i), квадратические слагаемые (коэффициенты регрессии b_i) и все парные произведения факторов (коэффициенты регрессии c_i); m – число факторных признаков ($m = 6$). Был проведен анализ коэффициентов регрессии на значимость по критерию Стьюдента. В результате было установлено, что все коэффициенты c_i – незначимые; незначимы так же коэффициенты a_1 и $b_3\dots b_6$. Соответствующие слагаемые были исключены из модели, и в результате повторного расчета была получена такая регрессионная модель:

$$E = 0,263\omega - 1,012W + 0,071\alpha + 1,119d + 2,374Q + 0,0073\varphi^2 - 0,00018\omega^2.$$

При степенях свободы $\nu_1 = 8$, $\nu_2 = 152$ расчетная статистика Фишера составила $F_p = 4,53$, что больше критического значения при уровне значимости 0,05. Таким образом, полученная модель зависимости эффективности грохочения от конструктивных и технологических параметров может быть признана адекватной.

В табл. 2 приведены данные о коэффициентах надежности коэффициентов

уравнения регрессии.

Таблица 2 – Коэффициенты надежности и уравнения регрессии

Обозначения коэффициента регрессии	$a_2(\omega)$	$a_3(W)$	$a_4(\alpha)$	$a_5(d)$	$a_6(Q)$	$b_1(\varphi^2)$	$b_2(\omega^2)$
Значения	0,263	-1,012	-0,071	1,119	2,374	0,0073	-0,00018
$t_{расч.}$	2,34	4,38	1,21	1,33	2,70	1,1	2,23

Таким образом, по приведенной модели можно получить информацию о тех значениях параметров, при которых эффективность грохочения принимает экстремальное значение:

– по углу наклона: с увеличением угла наклона в принятом диапазоне эффективность увеличивается; наибольший эффект достигается при $\varphi = 8-12^\circ$, а при дальнейшем увеличении – показатели ухудшаются;

– по частоте вращения валков: экстремальное значение достигается при значении:

$$\omega = \frac{a_2}{2b_2} = \frac{0,263}{0,00036} = 655, \text{ об/мин.};$$

– по влажности сыпучего материала: эффективность тем выше, чем ниже влажность;

– по содержанию подрешетного класса крупности (α) в исходном материале: с увеличением α эффективность снижается до определенного предела ($\alpha = 50\%$), после которого влияние незначительно;

– по зазору между валками: с увеличением зазора эффективность растет;

– по удельной нагрузке на грохот: рост удельной нагрузки приводит к увеличению эффективности грохочения в пределах эксперимента по линейному закону. На полноразмерных валковых грохотах эффективность достигает 90–95 %.

Следует отметить, что относительно низкая эффективность грохочения, полученная в экспериментах вызвана малым количеством валков на лабораторной установке (4-6 штук). С увеличением количества валков до 15-20 эффективность может быть получена максимальная.

Результаты выполненных исследований могут служить основой для выбора конструктивных и технологических параметров валкового грохота как на стадии проектирования, так и на стадии промышленной эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надутый В.П., Ягнюков В.Ф., Прокопишин Л.Н. Определение влияния конструктивных параметров вибрационного валкового классификатора на технологические показатели / Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Зб. наук. праць "Хімія, хімічна технологія та екологія". – Харків: НТУ ХПІ, 2003. – С.75-78.
2. Надутый В.П., Ягнюков В.Ф., Прокопишин Л.Н. Зависимость производительности валкового классификатора от динамических параметров и свойств горной массы / Збірка доповідей міжнар. наук.-техн. конф. "Сталій розвиток гірничо-металургійної промисловості". – Кривий Ріг. – Т.2. – 2004. – С.45-48.
3. Надутый В.П., Ягнюков В.Ф., Прокопишин Л.Н. Сравнительный анализ удельной эффективности разде-

ления вибрационных и валковых классификаторов / Всеукр. наук.-техн. журнал "Вібрації в техніці та технологіях". – Вінниця. – Вип. . – 2004. – С.16-20

4. Надутый В.П., Ягнуков В.Ф. Моделирование влияния параметров валкового классификатора на производительность / Міжвід. зб. наук. праць. – Інститут геотехнічної механіки НАН України. – Дніпропетровськ. – Вип.30. – 2002. – С.165-171

УДК 662.7:552.87

Д-р геол.-мин. наук В.В. Лукинов,
д-р техн. наук В.А. Гончаренко,
инж. Д.А. Суворов
(ИГТМ НАН Украины)

О МЕХАНИЗМЕ ГЕНЕРАЦИИ МЕТАНА УГОЛЬНЫМ ПЛАСТОМ В ПРОЦЕССЕ ГОРНЫХ РАБОТ

Розглянуто фізико-хімічні основи сучасного утворення метану з вугілля в результаті техногенного впливу гірських робіт на вуглепородний масив

ABOUT MECHANISM OF THE GENERATIONS THE METHANE IN COAL LAYER IN PROCESS THE MOUNTAIN WORKS

They Are Considered physical-chemical bases of the modern forming the coal methane as a result technogenic influences of the mountain work on coal-rock massive

Исследования газоносности угольных месторождений позволили установить, что газы в углепородном массиве образовались в результате процессов метаморфизма углей и рассеянных углистых включений во вмещающих породах. Среди этих газов преобладает метан (от 60 до 95 %). Большинство исследователей считают, что метан в угле находится в свободном, сорбированном, растворенном и даже твердом состояниях [1].

Однако некоторые ученые считают, что метан в значительной мере образуется также в процессе горных работ в угольном пласте путем физико-химических реакций углерода с водородом под влиянием перераспределения напряженного состояния, которое приводит к деструкции угля. В качестве аргументов приводят различного рода расчеты и факты из практики горного дела.

Так, например: Эттингер И.Л. оценивал объёмы выделившегося CH_4 при выбросах угля и получил такие его объёмы, которые не смогли бы даже теоретически находиться в угольном пласте при максимальных его сорбционных параметрах; преобразование метана в твердое состояние требует огромных энергетических затрат, о которых нет сведений из истории образования угольных месторождений; лабораторные опыты по дегазации угля под вакуумом свидетельствуют о постоянной генерации метана; коэффициент общей пористости в ряду бурые угли – антрациты изменяется по параболе от 12 до 7 %, с минимумом 4 % на стадии коксующихся углей и т.п. [1, 2]. Приведенные аргументы указывают на то, что в объемах выделившегося газа из угля (особенно в случае проявления газодинамических явлений) очевидно значительная доля принадле-