

$h_{LR,крит}$ , которую может преодолеть колесо локомотива без отрыва магнитного блока от рельса, возрастает и при  $\alpha_{mij}$ , равном  $30^\circ$  достигает максимального значения.

Дальнейшее увеличение угла наклона тяг не влияет на величину преодолеваемой неровности.

Зависимость  $h_{LR,крит} = f(\alpha_{mij})$  аппроксимирована степенным полиномом вида

$$h_{LR,крит} = -0,0001\alpha_{mij}^3 - 0,0002\alpha_{mij}^2 + 0,4599\alpha_{mij} - 0,00269.$$

Полученная зависимость связывает основной параметр возмущающего воздействия (высоту неровности  $h_{LR,крит}$ ) с одной из важнейших конструктивных характеристик магниторельсовой системы (угол наклона тяг системы подвешивания), определяющей эффективность ее работы, что позволяет на стадии проектирования исходя из реального состояния рельсового пути определять рациональные параметры магнитного блока и системы подвешивания.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** В результате проведенных исследований разработана методика определения коэффициента использования силы магнитного притяжения на основе результатов вычислительного эксперимента в программе трехмерного моделирования КОМПАС.

Получена зависимость критической высоты неровности рельсового пути, при которой происходит отрыв магнитного блока от рельса, от угла наклона тяг системы подвешивания.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение влияния на величину силы магнитного притяжения неровностей рельсового пути в виде локального прогиба рельсовой нити и проседания рельсов на стыке.

#### Список литературы

1. **Абрамов А. П.** Определение работоспособности рельсового магнитного тормоза при прохождении им рельсового стыка / **А. П. Абрамов, В. Д. Елманов** // Механизация работ на рудниках: сб. науч. тр. Кузбас. политехн. ин-та. - Кемерово, 1982. - С. 142-146.
2. **Процев В. В.** Моделирование торможения шахтного поезда на заданном участке пути: монография / **В. В. Процев**. – Д.: Национальный горный университет, 2011. - 208 с.
3. **Процев В. В.** Моделирование процесса торможения шахтного поезда магниторельсовым догрузателем / **В. В. Процев, А. В. Новицкий** // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2012)». – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2012. - С. 129-134.
4. **Новицкий А. В.** Влияние несовершенств рельсового пути на характеристики колебательного режима шахтного локомотива / **А. В. Новицкий** // 36. наук. праць НГУ, – 2004. - № 19 - С. 171-176.
5. **Новицкий А. В.** Исследование показателей эффективности рельсовых тормозов шахтных локомотивов / **А. В. Новицкий** // 36. наук. праць НГУ. - 2006. – № 24 - С. 79-85.

Рукопись поступила в редакцию 22.01.14

УДК 622.272

С.В. ТИЩЕНКО', д-р техн. наук, Г.И. ЕРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
Криворожский национальный университет

Д.Ю. МАЛЫХ, начальник отдела технологии, ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ»

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЭВОЛЮЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Промышленные испытания проводятся с целью получения объективной информации для дальнейшей статистической обработки экспериментальных данных на исследуемых объектах, иначе говоря, имеет дело с эмпирической (статистической) моделью [1].

Целью поставленной задачи является управление объектом исследования путем создания новой технологии ведения взрывных работ и нахождения оптимальных условий, применения различных технологических схем взрывоподготовки горных пород.

Имеем стационарную модель, свободными параметрами в которой являются: высота уступа, расстояние между рядами (РМР), расстояние между скважинами (РМС) последующих рядов, замедление между секциями, система инициирования, длина заряда, диаметр скважин и другие технологические параметры.

Поставленная цель достигается с помощью метода эволюционного планирования (ЭВОП), позволяющая найти оптимальное решение.

Поскольку характеристики схем взрывания изменяются, то параметры корректируются и приспособляются к новой производственной ситуации, например, в зависимости от крепости пород, обводненности скважин, высоты заряда ВВ. Сложная система схем взрывания характеризуется большим количеством факторов, воздействующих на результаты эксперимента. Отделим факторы, интересующие нас в данном эксперименте, от фона, обусловленного неконтролируемыми воздействиями. На качество дробления пород помимо схем и способов взрывания скважин зарядов, оказывают влияние также множество других факторов [2].

Проведем рандомизацию эксперимента относительно конструкций скважинных зарядов. Предположим, что качество взорванной горной массы при взрыве на карьере по традиционному способу выше, чем по разработанному. Этот фактор не является достаточным для того, чтобы принять решение в пользу традиционной схемы взрывания. Решение находим в результате проверки статистической гипотезы о равенстве математических ожиданий двух случайных величин по их выборочным оценкам.

Все переменные значения, определяющие состояние схем взрывания, можно разделить на группы:

Группа  $z=(z_1...z_n)$ . В эту группу входят факторы, не допускающие целенаправленного изменения в ходе исследования. К факторам такого рода можно отнести: удельный расход ВВ, категория пород по взрываемости, высота уступа, крепость пород, тип станка.

Группа  $u=(u_1...u_n)$  образует управляемые факторы процесса, с помощью которых реализуется заданный технологический режим. К ним относятся: порядок взрывания, интервал замедления между секциями зарядов ВВ, конструкция скважинного заряда.

Группа  $y=(y_1...y_n)$  переменные факторы: надежность взрывной сети, выход фракции -400 мм.

Группа  $D=(d_1...d_n)$  неконтролируемые факторы, т.е. возмущения, не измеряемые качеством.

К такой группе можно отнести погодные условия, приводящие к дрейфу характеристик объекта.

В качестве планов эксперимента применяем планы полного и дробно факторного эксперимента, дополненные опытом в центре плана. Общее число опытов при использовании полного факторного эксперимента равно  $N=2^n+1$ . Для двух независимых переменных, надежности сети и интервала замедления между секциями, план состоит из  $N=2^2+1=5$  опытов.

В связи с невозможностью абсолютизации условий проведения взрывом данным эксперимента всегда присуща некоторая вариация. Поэтому для получения представления об описании точности получаемых опытным путем значений необходимо знать степень точности проводящихся экспериментов. Необходимое число опытов устанавливалось статистическим путем по величине коэффициента вариации. Коэффициент вариации численно равняется квадратическому отклонению, выраженному в процентах от среднего значения рассматриваемого параметра

$$R_{вар} = 100(\sigma/x),$$

где  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение;

$$\sigma = \sqrt{\sum \sigma_i^2 / N_{np} n_2} = 0,51,$$

где  $\sigma_1$  - отклонение отдельных параметров от групповых средних;  $n_1$  - число группы опытов;  $N_{np}$  - общее число опытов;  $x$  - среднее арифметическое; 0,4151; 0,4552; .

Следовательно, опыты равнозначны. Варьируем три переменные.

Регистрация и обработка результатов эксперимента приводится в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Расчет средних значений	Номера точек эксперимента				
	1	2	3	4	5
Сумма предыдущих циклов					
Среднее предыдущих циклов					
Новые наблюдения	0,9875	0,9869	0,9861	0,9879	0,9873
Разности(2)-(3)	0,9875	0,9869	0,9861	0,9879	0,9873
Новые суммы (1)+(3)					
Новые средние	0,9875	0,9869	0,9861	0,9879	0,9873
Вычисление эффектов					

Эффект типа блока = $1/2(0,9861+0,9879-0,9869-0,9873)=0,0012$	
Эффект замедления = $1/2(0,9861+0,9873-0,9869-0,9879)=0,0014$	
Эффект взаимодействия = $1/2(0,9869+0,9861-0,9879-0,9873)=0,0022$	
Эффект уменьшения среднего = $1/5(3,9482-3,95) = -0,0004$	
Расчет среднеквадратичных отклонений	Вычисление доверительных интервалов
Сумма предыдущих циклов $S'$	
Среднее предыдущих циклов $S'$	Для новых средних $S'$
Размах = 0,0071	
Новые значения $S'$	Для эффектов $S'$
Новая сумма $S'$	
Новые средние значения $S'$ ; $S' = \frac{\text{Новая сумма}}{P-1}$	Для измерения среднего

Таблица 2

Расчет средних значений	Номера точек эксперимента				
	1	2	3	4	5
Сумма предыдущих циклов	4,9821	5,121	5,006	4,9827	4,9943
Среднее предыдущих циклов	0,9865	0,9872	0,9861	0,9871	0,9876
Новые наблюдения	0,9921	0,9762	0,9762	0,9891	0,9896
Разности (2)-(3)	0,034	0,051	0,071	0,964	0,025
Новые суммы (1)+(3)	4,0925	5,002	4,9991	5,0043	0,0196
Новые средние	0,9860	0,9891	0,9861	0,9791	0,9882
Вычисление эффектов					
Эффект типа блока = 0,0061					
Эффект замедления = 0,0053					
Эффект взаимодействия = 0,0072					
Эффект уменьшения среднего = 0,0008					
Расчет среднеквадратичных отклонений	Вычисление доверительных интервалов				
Сумма предыдущих циклов $S=2,9171$					
Среднее предыдущих циклов 0,9272	Для новых средних $S=0,4125$				
Размах = 0,043					
Новые значения $\Sigma s=4,7261$	Для эффектов $S=0,4762$				
Новая сумма $\Sigma s=5,2147$					
Новые средние значения $\sum_n s_n = 8,9241$	Для измерения среднего $S = 0,7129$				

В заголовке указываются номера точек постановки эксперимента. В первую и вторую строки заносим значения сумм и средние значения целевых величин, подученных для каждой точки эксперимент в ходе реализации предыдущих циклов. Затем вносим новые значения целевой величины, а также разность между средним, предшествующим значением цикла и новым значением целевой величины. Эффект фактора равен приращению значения целевой величины в результате перехода с нижнего уровня на верхний. В нашем случае эффект переменной  $x_1$  равен полуразности сумм целевых величин и точках 3,4 и 2,5, а эффект переменной  $x_2$  определяется полуразностью сумм целевых величин в точках 3,5 и 2,4. Эффект взаимодействия равен полуразности сумм целевых величин точек 2 и 3 точек 4 и 5.

Для определения эффекта изменения среднего значения из сумм целевых величин в точках 2,3,4 и 5 вычитается учетверенное значение целевой величины в точке 1 и делится полученный результат на 5. Разность ( $\Delta m$ ) между средним значением целевой величины по наблюдениями во всех точках плана, и средними значениями целевой величины в центре плана ( $y^1m$ ) определяется по формуле

$$\Delta m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{im} - y^1m. \quad (1)$$

Агрегируем: крепость пород, высоту уступа, диаметр скважин, расстояние между рядами и назовем этот фактор условно тип одиночного объекта (блока). Данные поданы в табл. 3.

Таблица 3

Номер эксперимента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Фактор одиночного блока	118	119	120	120,7	91,3	93	94,3	95,0	95,6	90,1
Интервал замедления, мс	8,0	7,5	6,0	6,0	7,0	6,5	6,0	6,0	6,0	5,5

Для вычисления дисперсий эффектов введем обозначения. После реализации  $P$  циклов для  $N$  экспериментальных точек получаем следующие результаты измерения целевой величины:

усредненные значения после  $(P-1)$  цикла  $y_m^{-1}; y_m^{-2} \dots y_m^{-N}$   
измеренные значения для  $P$ -го цикла  $D_i$ .

Разность  $y_m^{-2} - y^{-ip}$  составит

$$D = \frac{1}{(p-1)} \sum_{j=1}^{p-1} y^{-ij} - y^{-ip}. \quad (2)$$

Для дисперсии получаем

$$\sigma_{D_i}^2 = \frac{1}{(p-1)^2} \sum_{j=1}^{p-1} \sigma^2 y^{-ij} + \sigma^2 y^{-ip}. \quad (3)$$

Так как предполагается, что все измерения целевой величины являются независимыми и имеют одну и ту же дисперсию  $\sigma^2$ , то

$$\sigma_{D_i}^2 = \frac{1}{(p-1)^2} (P-1) \sigma^2 = \frac{P}{p-1} \sigma^2. \quad (4)$$

Отсюда следует, что

$$\sigma = \frac{P-1}{P} \sigma_D^2 \quad \text{или} \quad \sqrt{\sigma} = \sqrt{\frac{P-1}{P}} \sigma_D.$$

Это означает, что оценка  $S_D^2$  дисперсии величины может быть использована для получения  $S^2$  дисперсии ошибки наблюдений. Для упрощения вычисленной оценки дисперсии используем размах величины  $D$

$$S_D = \frac{S_D}{d}; \quad S_D = |\max D_i^i - \min D_i^i|.$$

Отсюда следует, что

$$S = \frac{1}{d} \sqrt{P-1/P} \sigma d.$$

Тогда, по формуле (6) определяем разность

$$\Delta m = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (y_m^i - y_m^{-1}); \quad \Delta m = -0,1979.$$

Разность  $\Delta m$  незначительно отличается от нуля, следовательно, поверхность отклика в данной области описывается плоскостью.

Вычислим дисперсию эффектов после реализации 20 циклов дня пяти экспериментальных точек.

Усреднение значения после 19-ти циклов

$$y_m^1 = 0,9871; \quad y_m^2 = 0,9869; \quad y_m^3 = 0,9863; \quad y_m^5 = 0,9873;$$

Измеренные значения для 20-го цикла

$$y^{-1,20} = 0,9873; \quad y^{-2,20} = 0,9874; \quad y^{-3,20} = 0,9872; \quad y^{-4,20} = 0,9879; \quad y^{-5,20} = 0,9881.$$

Разность  $-y^i (-y^{ip})$

$$D^1 = 0,0002; \quad D^2 = 0,0005; \quad D^3 = 0,0009; \quad D^4 = 0,0012; \quad D^5 = 0,0008.$$

Следовательно, для дисперсии  $\sigma_D^2$ , получаем

$$\sigma_D^2 = \frac{1}{361} \sum_{j=1}^{19} \sigma_y^{2-ij} + \sigma_y^{2-ip}.$$

Изменения целевой величины по расчетам имеют дисперсию

$$\sigma = 0,0005.$$

Тогда дисперсия разности

$$\sigma_D^2 = 0,0006; \quad \sigma_D = 0,001.$$

$$S_D = \frac{0,001}{d}; \quad S = \frac{0,001}{d} \sqrt{0,95}.$$

Получаем для доверительной вероятности  $P=0,98$  значение  $t$ , нормированной функции Лапласа из условия  $\Phi(t) = \frac{1}{2} P$ , равные  $\approx 2$ .

Следовательно,  $\Delta t = \pm 1,15 \frac{S}{p}$ .

Принимаем решение ограничиться двадцатью циклами. Для двадцати точек плана фаза завершена, приняты целевые величины, полученные после 20 цикла.

Исходя из проведенных расчетов, принимаем следующее решение: ограничить количество опытов по 4 в каждом цикле. Процесс поиска достоверного приближения может быть завершен. Надежность находится в интервале при максимуме  $0,9881 \leq \max \leq 0,9985$ , а минимум находится в интервале  $0,9760 \leq \min \leq 0,9884$ .

Следовательно, опыты равночисленные и планирование эксперимента завершено.

#### Список литературы

1. Рыжов П.А. Математическая статистика в горном деле. - М. / Высшая школа, 1973. - 286 с.
2. Тищенко С.В. Математические модели физических процессов взрывных геотехнологий. - Кривой Рог / Миснерал, 2008. - 148 с.

Рукопись поступила в редакцию 15.01.14

УДК 621.45.04-52

Л.І. ЄФІМЕНКО, канд. техн. наук, доц., О.О. СПІВАК, студент  
Криворізький національний університет

### ОПТИМІЗАЦІЯ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СПІВВІДНОШЕННЯМ ПОДАЧІ ПАЛИВА Й ПОВІТРЯ В ТОПКУ КОТЛА

Розглянуто сучасні методи автоматизації виробництва пари та вибір методів, придатних для створення системи автоматичного контролю та регулюванню режимів роботи котлоагрегату, шляхом установки контрольно-вимірвальних приладів і регулюючих пристроїв, для забезпечення оптимального співвідношення подачі палива й повітря в топку котла.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Основне завдання підвищення ефективності промислових котельних полягає в поліпшенні показників їх теплової економічності, тобто в підвищенні ККД котельних, зниженні питомої витрати палива на вироблення теплової енергії для технологічних і комунально-побутових споживачів, а також зниження викиду шкідливих речовин в довкілля.

Зниження забруднення довкілля токсичними продуктами згоряння органічних палив є однією з важливих проблем розвитку теплоенергетики. У цей час діють досить тверді нормативи, що регламентують викиди в атмосферу. Переважна більшість діючих котлів мають значно більш високі рівні викидів  $\text{NO}_x$ , ніж це регламентується. До теперішнього часу розроблена велика кількість методів зниження викидів оксидів азоту як на стадії спалювання палива, так і очищення газів на стадії охолодження продуктів згоряння. Останні є високоефективними методами, що дозволяють забезпечити задані рівні викидів оксидів азоту, і широко застосовуються в технологічно розвинених країнах.

Актуальність вирішення цієї проблеми підкреслюється тенденцією до збільшення ціни на паливо, значна частина якого спалюється в котлах промислових котельних. На долю промислових котельних доводиться близько 25% теплової енергії, споживаній в системах теплопостачання України. При цьому як паливо використовується переважно дефіцитний і дорогий природний газ.

Складність вирішення проблеми підвищення ефективності промислових котельних, а також зниження викиду шкідливих речовин в довкілля, посилюється зношеністю основного і допоміжного устаткування котельних, тепловими навантаженнями, що різко змінюються, невідповідністю параметрів теплоносіїв, необхідним споживачеві, обмеженістю матеріальних засобів підприємств для автоматизації та модернізації котельних, залежністю від зовнішніх постачальників енергоносіїв і інше. Необхідність вирішення цих питань підтверджує актуальність теми роботи.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Оптимізація існуючої системи автоматичного керування співвідношенням подачі палива й повітря в топку котла є досить важливим питанням автоматизації виробництва. Детальний аналіз методів вимірювання газів і газоаналізаторів дано в літературних джерелах [1-7]. У розглянутих роботах вітчизняних науковців піднята актуальна проблема знижен-