

УДК 622.232.8.72

## Выбор моделирующего алгоритма процессов фронтально-фланговой выемки угля горными автоматическими манипуляторами

Т.Е. ЕРМЕКОВ, д.т.н., профессор,

И.И. ТАЗАБЕКОВ, д.т.н., профессор,

М.И. АРПАБЕКОВ, к.т.н., доцент,

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева

**Ключевые слова:** роботизированный комплекс, фронтально-фланговая выемка, горный автоматический манипулятор, селективная выемка.

В настоящее время под руководством проф. Ермакова Т.Е. ведется работа по созданию программного управления роботизированного комплекса для селективной выемки угля и породы (КРС) в сложных горно-геологических условиях без постоянного присутствия людей в очистном забое с оставлением породы в шахте [1-9].

В состав комплекса КРС входят крепи ОКП70 основной части лавы и секции крепи М130 закладываемой части лавы; две горные выемочные автоматические манипуляторы ВМФ-5; крепи сопряжения Т6К и М81СК; забойный конвейер; закладочное устройство и штрековый конвейер СП87П.

Область применения комплекса КРС – одинарные с породными прослойками или сближенные угольные пласты мощностью 1,9-4,0 м с углом падения до 55°, сопротивляемостью пласта резанию до 400кН/м, крепостью породных прослоев до 6 (по классификации проф. Протодяконова М.М.).

Мощность породных прослоев 0,4-1,5 м. При обработке пластов допускается наличие твердых включений и геологических нарушений, с амплитудой до 1-2 м. Управление кровлей – полное обрушение основной части лавы и закладка зоны конвейерного штрека. Система разработки – длинные столбы по простиранию. Лава оборудуется механизированной крепью (М130, 1МКМ), выемочным манипулятором ВМФ-5, конвейером КМВ-1-ОВБМ, технические характеристики которых соответствуют горно-геологическим условиям участка. Выемочный манипулятор используется одновременно для выемки угля и породы, выполнения концевых операций (рисунок 1).

Направление выемки осуществляется по простиранию пласта. Очистной забой проветривается по прямой схеме проветривания.

Управление кровлей идет полным обрушением кровли вслед за секцией крепи.

В этих условиях, для закладки вынудой породы в выработанное пространство, возникает необходимость создания пустоты, способной вмещать всю породу.

При отработке наклонных и крутонаклонных пластов применяется специальная транспортирующая база [3-5].

Отбойка угольного массива выемочными машинами осуществляется циклично или непрерывно, с сохранением устойчивой формы забоя [1].

Значительное повышение нагрузки (в 3-5 раз) на лаву при безлюдной выемке угля и обеспечение точности угледобычи можно реализовать путем обработки очистного забоя по всей длине лавы автоматическими выемочными манипуляторами фронтально-флангового действия в сочетании с механизированными крепями поддерживающего типа [6-9]. При этом наибольший эффект от использования этой технологии выемки будет достигнут в случае, когда на манипуляторы не будут взаимно накладываться кинематические и конструктивные связи [3,4].

Процесс выемки рассматривается как случайный. Для его реализации необходимо применение соответствующих алгоритмов.

Плотность весьма важного для прикладных задач  $\gamma$ -распределения можно выразить как:

$$f = (x, \eta; \lambda; \mu) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\lambda^\eta}{r(\eta)} (x - \mu)^{\eta-1} e^{-\lambda(x-\mu)}, \\ \text{где } x \geq \mu, \lambda > 0, \eta > 0 \end{array} \right\},$$

где  $\eta, \lambda$  – параметры  $\gamma$ -распределения (соответственно параметр масштаба и параметр формы);  $\mu$  – начало интервала, на котором определена случайная величина  $x$ ;  $r(\eta)$  – неполная гамма-функция.

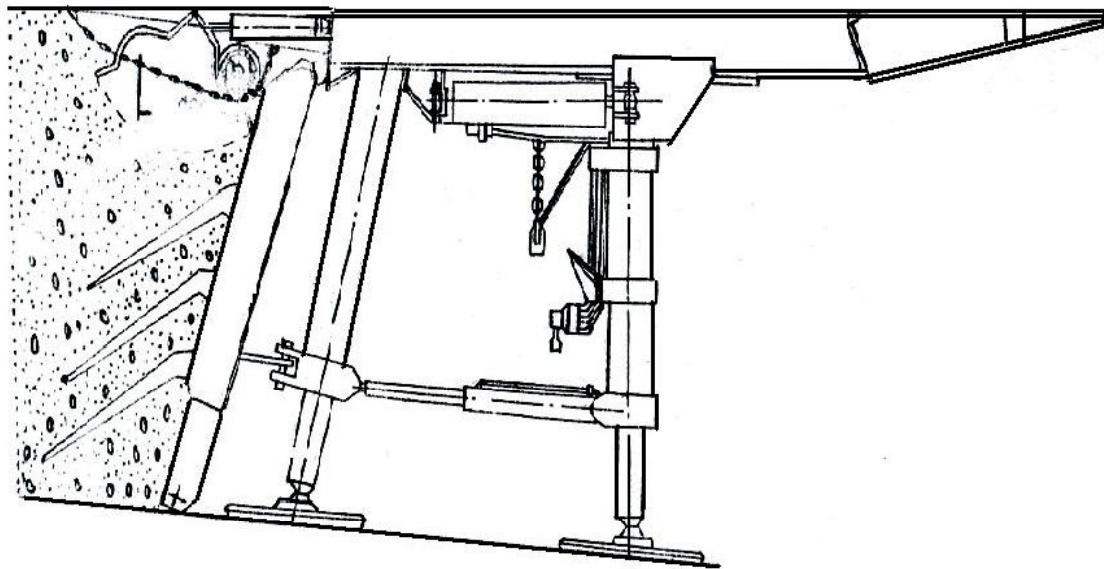


Рисунок 1 – Секция крепи с закладочным шпеком и уплотнительным устройством

Для  $r$ -распределения математическое ожидание  $\mu$  и дисперсия  $\sigma^2$  равны соответственно:

$$\mu = \frac{r}{\lambda};$$

$$\sigma^2 = \frac{\eta}{\lambda^2}.$$

Оценка параметров  $\gamma$ -распределения:

$$\lambda = \frac{\bar{x}(n-1)}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\bar{x}}{S^2}, \quad (1)$$

$$\bar{\eta} = \frac{x^2(n-1)}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2)$$

где 
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (3)$$

$$S^2 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}. \quad (4)$$

Нетрудно заметить (1-4), что

$$\hat{\lambda} = \bar{\lambda} \cdot \bar{x}. \quad (5)$$

Перейдем непосредственно к моделированию  $\gamma$ -распределения. Для этого обозначим случайную величину, подчиненную гамма-распределению, как  $\xi\eta$ . Обозначим  $\eta$  [1]:

$$\eta = v + \eta_1, \quad (6)$$

где  $[\eta]$  – целая часть  $\eta$ ,  $[\eta] = 0, 1, 2, \dots$ ;  
 $v$  – дробная часть  $\eta$ ,  $1 > v > 0$ .

Пусть  $\lambda = 1$ , так как всегда можно перейти от  $\xi\eta$ ,  $\lambda^i \neq 1$  к  $\xi\eta$ .

$$\xi\eta, \lambda^i \neq 1 = \frac{1}{\lambda}, \xi, \lambda^i = 1. \quad (7)$$

По правилу композиции:

$$\xi[\eta + v] = \xi[\eta] + \xi v, \quad (8)$$

имея в виду, что

$$\xi[\eta] = -\ln(n_{k=1}^{[\eta]} \alpha_k), \quad (9)$$

$$\xi[\eta] + v = -\ln(n_{k=1}^{[\eta]} \alpha_k) + \xi v, \quad (10)$$

где  $\alpha_k$  – случайная величина, равномерно распределенная на интервале  $/0, 1/$ .

1) Если  $v = \frac{1}{2}$  (частный случай), то:

$$\xi_{\frac{1}{2}} = -\ln \alpha_{[\eta]+1} \cos(2\pi) \cdot \alpha_{[\eta]+2}; \quad (11)$$

2) Если  $v < 1$  (общий случай), то применяем метод, предложенный математиком Йонком:

$$\xi_v = (\gamma_g - 1) \cdot \ln \alpha,$$

где  $\gamma_g$  – случайная величина, подчиняющаяся закону бета-распределения с параметрами  $1-v$ ;  $v$  свою очередь случайная величина  $\gamma_g$  моделируется по алгоритму:

- выбираются значения  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , равномерно распределенного в  $/0, 1/$  случайного числа;

- если  $\alpha_1^{\frac{1}{v}} + \alpha_2^{\frac{1}{1-v}} \geq 1$ , то повторяется пункт 1 и т.д., иначе:

$$\gamma_g = \frac{\alpha_1^{\frac{1}{v}}}{\alpha_1^{\frac{1}{v}} + \alpha_2^{\frac{1}{1-v}}}.$$

Программа позволяет работать в двух режимах ввода исходных данных:

а) при наиболее распространенных значениях весов каждого узла комбайна и их центров тяжести, заданных в программе;

б) а также вводить другие значения исходных данных при расчете на устойчивость любых других типов машин.

В исходных данных задаются также пределы изменения углов падения пласта в продольном и поперечном направлениях, углов поворота исполнительного органа в горизонтальной и вертикальной плоскостях. При этом программа предусматривает изменение перечисленных параметров в очень широком диапазоне без ограничения на пределы их изменения и позволяет пройти заданные пределы с любыми, наперед заданными шагами.

Так как машина может сама строить гистограммы выборок, то приводим такие гистограммы для коэффициента машинного времени и критерия (рисунок 2)

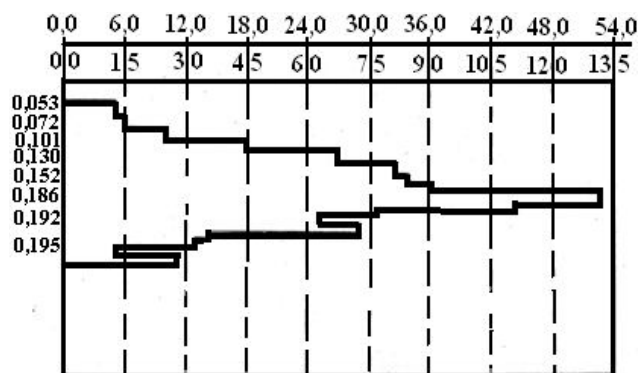


Рисунок 2 – Гистограмма выборки (вертикальная ось – границы интервалов, горизонтальная ось – частоты попаданий случайной величины и каждый интервал)

Определение длительности цикла  $T_{цикл}$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{цикл} = \sum_{i=1}^k (t_i^p + t_i^n) \\ L_n = \sum_{i=1}^k l_i \end{array} \right\}, \quad (12)$$

где  $t_i^{p(n)}$  – время работы (простоя) в  $i$ -й шаг моделирования;

$l_i$  – длина обрабатываемой зоны за время  $t_i^p$ ;

$L_n$  – длина лавы.

Длительность цикла определяется из совместного решения системы (12).

Определяем коэффициент машинного времени:

$$k_{м.в} = \frac{\sum_{i=1}^k t_i^p}{T_{цикл}}. \quad (13)$$

Показательное распределение и распределение Эрланга являются частными случаями гамма-распределения соответственно при  $\eta = 1$  и  $\eta = 1, 2, 3 \dots$ , поэтому для их моделирования можно адаптировать алгоритм, предложенный для  $\gamma$ -распределения. При этом надо заметить, что в целях экономии машинного времени выработки чисел, подчиненных показательному закону распределения или закону распределения Эрланга, лучше для них организовать отдельные подпрограммы. В целях дальнейшего повышения экономичности применяемых алгоритмов можно предложить способ моделирования показательного распределения (распределения Эрланга) Михайлова Г.А. [1].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермеков Т.Е., Бекенов Т.Н., Арпабеков М.И. Горные и строительные робототехнологические комплексы: Учебник для вузов. Астана: Фолиант, 2008. 332 с.
2. Арпабеков М.И. Обзор основных видов манипуляторов при автоматизации и роботизации очистных работ // Современные проблемы машиностроения: Тр. IV межд. науч.-техн. конф. / Федеральное агентство по образованию и Томский политехнический университет. 26-28 ноября, Томск, 2008. С. 65-67.
3. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И., Кульджабеков Б. Оптимизация параметров загрузочных устройств центрирующим лотком // Науч. жур. МОиН РК Изденіс (Поиск). 2006. №3. С. 316-318.
4. Арпабеков М.И. Исследование скорости подачи выемочных манипуляторов с адаптивным программным управлением при различных способах обработки забоя // Современная архитектура, строительство и транспорт: состояние и перспективы и развития: Мат. межд. науч.-прак. конф., посвященной 45-летию ЦИСИ / Астана: ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2009. С. 355-358.
5. Ермеков Т.Е., Бекенов Т.Н., Арпабеков М.И. Разработка горных робототехнологических комплексов для сложных и чрезвычайных геотехнических ситуаций // Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана: Тр. межд. науч.-прак. конф. / Караганда: КарГТУ. 2005. С. 37-39.
6. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Выбор принципиальной схемы адаптивно-программного управления горных и строительных машин при системе стабилизации нагрузок // Современная архитектура, строительство и транспорт: состояние и перспективы и развития: Мат. межд. науч.-практ. конф., посвященной 45-летию ЦИСИ / Астана: ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2009. С. 375-378.
7. Арпабеков М.И. Система диагностики неисправностей функциональных элементов очистного роботизированного комплекса для селективной выемки угольных пластов // Науч. жур. «Хабаршы-Вестник» №4 (71) / ЕНУ им. Гумилева. Астана, 2009. С. 207-212.
8. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Определение зоны резания для различных режимов работы манипулятора // Журнал «Вестник КазАТК им. М. Тынышбаева». Сб. науч. трудов. №4 (59). Алматы, 2009. С. 118-123.
9. Арпабеков М.И. Оценка спектрально корреляционных характеристик работы манипулятора на базе коронки ПК-3М, ПК-9Р // Вестник Павлодарского госуниверситета им. С. Торайгырова (серия энергетическая) №1. Павлодар: Изд-во «Кереку» 2009. С. 19-23.
10. Арпабеков М.И. Математическая модель горного выемочного манипулятора и его рабочего органа // Актуальные проблемы математики, информатики, механики и теории управления: Мат. межд. науч.-прак. конф., посвященной 60-летию д.т.н., проф., акад. Нац. ИА РК Биярова Т.Н. Ч.1 / КБТУ, ДГП «Институт механики и машиноведения КН МОН РК», ДГП «Институт математики и механики» КазНУ им. Аль-Фараби, Институт прикладного и системного анализа НАН и МОН Украины. Тип. ТОО «Эвер», Алматы, 2009. С. 107-112.