

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

д.т.н. Антипов И.В., асп. Грядущий В.Б. (ИФГП НАН Украины)

За допомогою методу групового обліку аргументів отримані математичні моделі надійності і продуктивності комплексно-механізованої технології виїмки пологих шарів. Установлено, що найбільший деструктивний вплив на формування надійності і продуктивності очистних вибоїв робить процес кріплення і управління покрівлею.

MATHEMATICAL MODELING OF WORKING PROCESSES IN LONGWALL

Antipov I.V., Gryadushii V.B.

Structurization of processes and operations for longwall mining mechanized technology is executed. Mathematical models of mining technology reliability and productivity for flat layers are received by the Group Account Arguments Method. It is established, that the fastening and roof control processes are the most destructive effect on reliability and productivity longwalls.

Актуальность проблемы.

Ежегодно в угольной промышленности мира добывается около 4 млрд. т угля. Основными угледобывающими странами являются США, Китай, Россия, Украина, Германия, Великобритания, Австралия, Польша, ЮАР, Чехословакия, Канада, Индия и др. Причем, около 70% мировой добычи угля приходится на подземный способ, а более 60% угля добывается на шахтах длинными очистными забоями [1].

Основным средством обеспечения высоких технико-экономических показателей работы очистных забоев являются механизированные комплексы [2]. В последние годы отмечается некоторое снижение показателей применения механизированных комплексов на шахтах Украины и других стран СНГ. Наряду с сокращением количества комплексно-механизированных забоев, снижаются средняя нагрузка на лаву и производительность труда рабочих [3].

Определить наиболее рациональные пути повышения эффективности средств комплексной механизации можно путем установления причин снижения показателей работы лав и выявления имеющихся резервов.

Для этого необходимо провести исследования в действующих очистных забоях, разработать методику математического моделирования и установить зависимости основных параметров, характеризующих работу лав, от комплекса влияющих факторов.

Задачи исследования.

Задачи проводимых исследований заключаются в следующем:

- определить показатели надежности механизированных комплексов с различными вариантами компоновки оборудования;
- установить среднюю продолжительность и причины простоев очистных забоев из-за отказов отдельных компонентов оборудования механизированных комплексов;
- создать информационную базу для формализации зависимостей надежности и производительности механизированных комплексов от продолжительности выполнения технологических процессов в очистных забоях.

Планирование экспериментов и обоснование необходимого объема информации.

Анализ использования оборудования механизированных комплексов показал, что для отработки тонких пластов возможно применение 41 варианта компоновки "крепь-комбайн-конвейер". Для детального анализа были отобраны 10 очистных забоев с наиболее характерными для Донбасса горно-геологическими условиями [4]. Комплексные натурные наблюдения проводились в очистных забоях, оборудованных наиболее распространенными вариантами комплектации механизированных комплексов - КД80, МКД90, КМ103, КМК97М и др.

Наиболее эффективным инструментом учета результатов функционирования технических систем с точки зрения их надежности являются хронометражные наблюдения.

Минимально необходимое количество и продолжительность наблюдений определяются с помощью методов теории планирования экспериментов. Если величина t_i представляет собой случайные наработки между соседними отказами восстанавливаемого объекта (очистного забоя), то опытная наработка на отказ ($T_{он}$) составляет:

$$T_{он} = \frac{t_i}{n}, \quad (1)$$

где n - количество независимых опытов (наблюдений).

В этом случае границы доверительного интервала продолжительности наблюдений определяются по формулам:

$$T_{н} = r_3 T_{он}, \quad (2)$$

$$T_{в} = r_1 T_{он}, \quad (3)$$

где $T_{н}$ - время наработки на отказ; $T_{в}$ - время восстановления работоспособного состояния очистного забоя.

Если наблюдения в очистном забое проводились в течение наработки t_n и при этом было зафиксировано m отказов, то вместо уравнения (1) будем иметь:

$$T_{\text{оп}} = \frac{t_{\text{н}}}{m}, \quad (4)$$

В этом случае нижняя граница доверительного интервала находится из уравнения (2) по формуле:

$$T_{\text{н}} = r_2 T_{\text{оп}}, \quad (5)$$

или, с учетом выражения (4):

$$T_{\text{оп}} = \frac{t_{\text{н}}}{r_0}, \quad (6)$$

Если наблюдения ведутся до получения заданного числа отказов, а время испытаний является случайной величиной, то используются коэффициенты r_1 и r_2 . Если наблюдения проводятся в течение заданного промежутка времени, а получаемое число отказов является случайным, то при определении границ доверительного интервала используются коэффициенты r_1 и r_2 . Коэффициент r_0 используется, если наблюдения ведутся до первого отказа.

Задавая минимальную наработку на отказ $T_{\text{мин}}$, можно определить наименьшую наработку при проведении наблюдений по формуле:

$$T_{\text{н}} = \frac{t_{\text{н}}}{r_0} \geq T_{\text{мин}}, \quad (7)$$

Таким образом, получаем:

$$t_{\text{н мин}} = r_0 T_{\text{мин}}. \quad (8)$$

Исходя из задач исследований, отказ рассматриваемого объекта (очистного забоя) происходит в период вторичных осадок основной кровли. Анализ характера протекания геомеханических процессов показал, что вторичные осадки в зависимости от литологического состава пород проявляются в лавах работающих с полным обрушением через 8...12 м (категории пород по классификации Донуги A_1 и A_2). Суточное подвигание очистного забоя составляет в среднем 0,8...1,2 м. Расчет минимальной продолжительности наблюдений выполняется для средних значений шага посадки и суточного подвигания очистных забоев, 10 м и 1 м, соответственно. Доверительная вероятность принимается 0,95, для которой $r_0=3,0$. По формуле (8) получаем, что минимальная продолжительность наблюдений в одном забое составляет 138 часов, или 23 смены.

В 20-й западной лаве пласта c_{13} шахты "Южно-Донбасская № 1" наблюдения проводились непрерывно в течение 48 смен (288 ч). Лава была оборудована механизированным комплексом КМ103. Средняя нагрузка со-

ставляла 149 т/см, а коэффициент готовности - 0,62. В 1-й северной лаве пласта m_3 шахты "Горняк", оборудованной комплексом КМ103, наблюдения велись 42 смены (252 ч). Получены следующие средние значения нагрузки и коэффициента готовности: 131 т/см и 0,55. В 3-й восточной лаве пласта l_1 шахты "Комиссаровская": КД80, 39 смен (174 ч), 154 т/см и 0,65, соответственно. 8-я лавы западного блока пласта l_4 шахты "Винницкая": КД80, 42 смены (252 ч), 140 т/см и 0,61. Лавы 29 пласта h_{10} шахты "Иловайская": КМК97М, 27 смен (162 ч), 130 т/см и 0,57. 3-я южная лавы пласта k_8 шахты им. Г.М.Димитрова: КМК97М, 36 см (216 ч), 125 т/см и 0,52. 12-я лавы пласта h_7 шахты "Заря": КМ137, 51 смена (306 ч) 144 т/см и 0,6. Лавы 532 пласта n_8 шахты 10-я "Великомостовская": КМ137, 33 смены (198 ч), 157 т/см и 0,67. Лавы 27 пласта i_3 шахты им. Я.М.Свердлова: 2МКДМ, 30 смен (180 ч), 124 т/см и 0,53. Лавы 816 пласта c_8 шахты "Западно-Донбасская": 2МКДМ, 36 смен (216 ч), 110 т/см и 0,51.

Объем наблюдений по каждой лаве превышает минимальную продолжительность наблюдений - 138 часов. Таким образом, имеющейся информации достаточно для формализации зависимостей надежности производственных процессов и производительности комплексно-механизированных забоев с максимальной относительной ошибкой 0,1 и установления интервальных оценок с доверительной вероятностью 0,9.

Наблюдения в каждой лаве проводились непрерывно. В рабочие смены хронометрировалась продолжительность выполнения производственных процессов и операций, а также причины и время устранения отказов с точностью до 5 минут. В проведении исследований принимали участие научные сотрудники Донецкого научно-исследовательского угольного института (ДонУГИ) и студенты горного института Донецкого национального технического университета (ДНТУ).

Методологическая основа исследования.

В качестве методологической базы исследований принимается системный подход [5]. При этом объект исследования - комплексно-механизированной технологии очистной выемки угля - рассматривается как совокупность (система) взаимосвязанных технологических приемов и способов достижения положительного результата.

Структуризация исходных данных.

На первом этапе исследований подвергаются структуризации затраты времени на выполнение процессов и операций очистного цикла [6].

Ведение очистных работ с применением механизированных комплексов предусматривает выполнение последовательных (несовмещенных во времени) процессов и операций, которые условно можно разделить на три группы:

- выемка угля комбайном (механизированная зачистка угля при односторонней схеме работы комбайна), крепление забоя и передвижка конвейера;
- концевые операции (передвижка головок конвейера, профилактиче-

ский осмотр оборудования и др.);

- прочие затраты времени (прием-сдача смены, буровзрывные работы и др.).

Особую категорию операций составляют нештатные - обусловленные необходимостью устранения отказов. Продолжительность выполнения нештатных операций определяется временем простоев по внутрилавным причинам. Отдельную группу простоев (внелавные) составляют остановки по причинам, зависящим от общешахтного и участкового транспорта, из-за перебоев в снабжении электроэнергией и др.

Внутрилавные простои, в зависимости от вызывающих их причин, делятся на следующие группы: неисправности комбайна, конвейера, механизированной крепи и прочего оборудования.

Как и любая технология, представляющая собой совокупность приемов и способов добычи полезных ископаемых, комплексно-механизированная выемка угля характеризуется определенной цикличностью выполнения процессов и операций во времени.

Выемка угля комбайном осуществляется одновременно с передвижкой секций механизированной крепи и става конвейера. Исключение составляют технологии, предусматривающие одностороннюю схему работы комбайна, или фронтальную передвижку конвейера. В этом случае процессы не совмещаются во времени. Концевые операции предусматривают передвижку головок конвейера, профилактический осмотр и мелкий ремонт комбайна и др. К прочим производственным затратам времени относятся буровзрывные работы, мероприятия по дегазации, упрочнению, разупрочнению пород.

При проведении хронометражных наблюдений фиксировались затраты времени выполнения штатных процессов:

- выемка и зачистка угля, крепление и передвижка конвейера (t_1), мин.;
- продолжительность концевых операций (t_2), мин.;
- прочие затраты времени (t_3), мин.

Простои лав обуславливались отказами следующих компонентов механизированных комплексов:

- комбайна (t_4), мин.;
- конвейера (t_5), мин.;
- механизированной крепи (t_6), мин.;
- прочие простои по внутрилавным причинам (t_7), мин.

Простои по внелавным причинам обуславливались следующими факторами:

- общешахтный транспорт (t_8), мин.;
- энергоснабжение (t_9), мин.;
- прочие простои по внелавным причинам (t_{10}), мин.

В таблице представлены средние значения затрат времени выполнения операций в исследуемых очистных забоях.

Выемка угля, крепление забоя и передвижка конвейера занимают от

15,8% до 42,7% общего времени. Концевые операции занимают 10...20% времени.

Среди внутривальных простоев наибольшую продолжительность времени занимают неполадки крепи - от 15,6% до 22,5%. Простои по вине конвейера составляют от 7,8% до 15,8% и комбайна - от 5,0% до 7,5%.

Таким образом, предварительный анализ результатов наблюдений показал, что в комплексе оборудования "крепь - комбайн - конвейер" наименее надежным элементом является механизированная крепь.

Таблица 1. Средние значения параметров (А, т/смена; k_r) и факторов (t_i , мин.).

№	A	k_r	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	Σt_i
1	149	0,62	128	59	18	9	33	68	15	18	8	4	360
2	131	0,55	94	67	24	18	34	83	17	14	4	5	360
3	154	0,65	160	38	15	6	34	56	20	17	7	7	360
4	140	0,61	117	63	19	18	35	60	19	17	6	6	360
5	130	0,57	99	66	18	18	35	74	21	13	10	6	360
6	125	0,52	90	64	14	32	41	79	15	12	6	7	360
7	144	0,60	134	50	15	18	39	58	17	17	6	6	360
8	157	0,67	154	48	23	5	28	69	10	17	4	2	360
9	124	0,53	93	72	12	19	57	81	20	3	2	1	360
10	110	0,51	82	70	14	27	47	72	19	10	12	7	360

Выбор и обоснование параметров и факторов.

Для окончательных выводов о направлениях совершенствования средств комплексной механизации необходимо формализовать зависимости параметров, характеризующих работу очистных забоев, от комплекса влияющих факторов.

При выборе моделируемых параметров учитывается следующее:

- параметр должен быть весомым, т.е. наиболее полно характеризовать исследуемый объект, его полезные свойства, выход продукции и т.д.;
- желательно чтобы параметр имел простой экономический, технический, или физический смысл, чтобы он легко вычислялся, или измерялся;
- параметр обязательно должен быть количественным, т.е. иметь числовую оценку;
- предпочтительно, чтобы параметр был универсальным, т.е. сопоставим с аналогичными показателями других объектов.

В качестве параметров, характеризующих систему "технология очистных работ" могут выступать экономические (себестоимость угля, производительность труда и др.), или технические (надежность функционирования, нагрузка на забой и др.). Выбор параметров осуществляется в соответствии с целью проводимых исследований.

Для установления технических возможностей объекта исследования, комплексно-механизированной технологии очистных работ, наиболее приемлемы показатели нагрузки на очистной забой (A , т/смену) и коэффициента готовности (k_c).

Эти параметры достаточно полно характеризуют полезные свойства объекта - выход готовой продукции в единицу времени и вероятность работоспособного состояния; они имеют простой технический и физический смысл, легко измеряются, оцениваются численным значением, сопоставимы с аналогичными показателями других технологий добычи угля. Факторами при этом выступают затраты времени на выполнение штатных и нештатных процессов и операций очистного цикла [7].

Выбор и обоснование метода восстановления зависимостей.

Одним из распространенных методов получения математических моделей является множественная регрессия. Однако жесткие количественные и качественные требования к исходным данным для корректного применения регрессионного анализа накладывают определенные ограничения на область его применения. Кроме нормального распределения факторов и значительного превалирования объема наблюдений над количеством аргументов (10...12 раз), к таким требованиям относятся: стахостическая независимость результатов наблюдений и пропорциональность величины условной дисперсии зависимой переменной некоторой известной функции. Наличие этих и ряда других требований к корректному использованию множественной регрессии не позволяет использовать ее для решения многофакторных задач в условиях дефицита информации и зашумленности исходных данных, к которым относятся задачи моделирования производственных процессов.

Кроме того, методы математического моделирования основываются на принципе - чем больше переменных содержит модель и чем она сложнее, тем точнее описывает действительность. Поэтому для получения наиболее точного результата структура модели искусственно усложняется, перегружается малоинформированными аргументами. Но, желая работать с более простой моделью, приходится искусственно удалять из нее часть факторов, сохраняя точность результатов в заданных пределах с помощью методов факторного, дисперсионного анализа и др. Гораздо эффективнее было бы сразу получать модель оптимальной сложности путем отсева малоинформированных факторов в процессе ее формирования.

Существенным недостатком некоторых методов математического моделирования является низкая помехозащищенность, чем вызвано появление теории планирования экспериментов. При разработке моделей ис-

пользуется только один, внутренний, критерий оценки точности, а внешние критерии отсутствуют. Поэтому при применении множественной регрессии для обработки зашумленных данных, в том числе шахтных наблюдений, математические модели имеют невысокую точность - отклонения в поле исходных данных достигают 30.. 40%.

Достоверность и устойчивость математических моделей существенно повышается при использовании метода группового учета аргументов (МГУА). Алгоритмы МГУА реализуют принципы самоорганизации сложных систем. Согласно этим принципам при постепенном усложнении структуры модели значение внешнего критерия сначала уменьшается, а затем возрастает, проходя при этом через минимум, определяющий модель оптимальной сложности и максимальной точности. Поскольку аналитическая зависимость величины критерия от сложности модели не известна, задача поиска минимума критерия решается методом математической индукции при помощи целенаправленного перебора многих моделей-претендентов. В зависимости от назначения будущей модели используются критерии регулярности, несмещенности и баланса переменных. Возможно также последовательное или комбинированное применение нескольких критериев.

Сравнительный анализ существующих методов математического моделирования показал, что для установления зависимостей надежности и производительности комплексно-механизированных технологий очистных работ от продолжительности производственных процессов в лаве наиболее приемлем метод группового учета аргументов, основанный на самоорганизации моделей, определения структуры модели оптимальной сложности, имеющий высокую помехозащищенность за счет применения внешних критериев селекции [8, 9]. Этот метод позволяет получать наиболее простые и точные модели при решении многофакторных задач в условиях дефицита наблюдений и высокой зашумленности исходных данных шахтного эксперимента.

Результаты математического моделирования.

С помощью МГУА получены математические модели всех десяти комплексно-механизированных очистных забоев:

$$\begin{aligned}
 k_r &= 0,43 - 2,07 \cdot 10^{-5} \cdot t_5 \cdot t_6 + 1,86 \cdot 10^{-3} \cdot t_1, & (9) \\
 A &= 0,23 - 6,07 \cdot 10^{-8} \cdot t_4^2 \cdot t_6^2 + 1,16 \cdot t_1, \\
 & 36 < t_1 < 252, 0 < t_5 < 63, 0 < t_4 < 40, 0 < t_6 < 130;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_r &= 0,35 + 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot t_1^2 + 4,62 \cdot 10^{-5} \cdot t_1 \cdot t_4 - 2,01 \cdot 10^{-5} \cdot t_1 \cdot t_5 - 1,44 \cdot 10^{-3} \cdot t_6, & (10) \\
 A &= 1,39 + 2,43 \cdot 10^{-3} \cdot t_1 - 1,92 \cdot 10^{-4} \cdot t_1 \cdot t_4 - 4,84 \cdot 10^{-4} \cdot t_4 \cdot t_5 + 1,38 \cdot t_1, \\
 & 27 < t_1 < 212, 0 < t_5 < 85, 0 < t_4 < 36, 0 < t_6 < 135;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_r &= 5,75 + 3,78 \cdot 10^{-4} \cdot t_1^2 - 1,01 \cdot 10^{-4} \cdot t_1 \cdot t_2 + 0,84 \cdot t_1 - 4,13 \cdot 10^{-2} \cdot t_6, & (11) \\
 A &= 0,42 - 4,42 \cdot 10^{-11} \cdot t_2^2 \cdot t_6^2 + 1,68 \cdot 10^{-3} \cdot t_1 - 1,07 \cdot 10^{-3} \cdot t_4 - 1,39 \cdot 10^{-4} \cdot t_5, \\
 & 27 < t_1 < 224, 5 < t_2 < 65, 0 < t_4 < 30, 0 < t_5 < 75, 0 < t_6 < 108;
 \end{aligned}$$

$$k_r = 0,62 - 4,62 \cdot 10^{-5} \cdot t_5 + 2,86 \cdot 10^{-5} \cdot t_1 \cdot t_2 - 2,2 \cdot 10^{-3} \cdot t_2, \quad (12)$$

$$A = 1,62 - 1,11 \cdot 10^{-4} \cdot t_1 \cdot t_2 - 8,34 \cdot 10^{-5} \cdot t_2 \cdot t_6 + 1,19 \cdot t_1 - 1,11 \cdot 10^{-2} \cdot t_5, \\ 27 < t_1 < 225, 36 < t_2 < 79, 0 < t_3 < 66, 0 < t_6 < 120;$$

$$k_r = 0,60 + 3,99 \cdot 10^{-6} \cdot t_1 + 1,17 \cdot 10^{-3} \cdot t_2 - 8,75 \cdot 10^{-3} \cdot t_4 - 7,42 \cdot 10^{-4} \cdot t_5, \quad (13)$$

$$A = 0,67 - 1,08 \cdot 10^{-4} \cdot t_1 \cdot t_4 - 2,25 \cdot 10^{-4} \cdot t_4 \cdot t_5 + 1,31 \cdot t_1, \\ 26 < t_1 < 220, 47 < t_2 < 47, 0 < t_4 < 36, 0 < t_5 < 57;$$

$$k_r = 0,75 - 1,21 \cdot 10^{-8} \cdot t_2^2 \cdot t_4 \cdot t_6 + 3,89 \cdot 10^{-6} \cdot t_1^2 - 1,58 \cdot 10^{-3} \cdot t_2 - 1,69 \cdot 10^{-3} \cdot t_4, \quad (14)$$

$$A = 1,64 + 1,51 \cdot 10^{-5} \cdot t_1^2 - 2,23 \cdot 10^{-4} \cdot t_5^2 + 1,37 \cdot t_1 - 6,15 \cdot 10^{-3} \cdot t_6, \\ 30 < t_1 < 248, 26 < t_2 < 76, 19 < t_4 < 49, 0 < t_5 < 62, 0 < t_6 < 123;$$

$$k_r = 0,47 - 5,97 \cdot 10^{-7} \cdot t_2 \cdot t_4 \cdot t_6 + 1,56 \cdot 10^{-3} \cdot t_1 - 1,79 \cdot 10^{-3} \cdot t_4, \quad (15)$$

$$A = 1,06 - 7,35 \cdot 10^{-5} \cdot t_5^2 + 4,97 \cdot 10^{-5} \cdot t_1 \cdot t_5 + 1,07 \cdot t_1 - 2,33 \cdot 10^{-2} \cdot t_4, \\ 31 < t_1 < 256, 13 < t_2 < 71, 0 < t_4 < 40, 0 < t_5 < 68, 0 < t_6 < 112;$$

$$k_r = 0,83 + 1,85 \cdot 10^{-6} \cdot t_1 \cdot t_2 - 5,17 \cdot 10^{-5} \cdot t_5 \cdot t_6 - 1,24 \cdot 10^{-3} \cdot t_2, \quad (16)$$

$$A = 3,22 - 1,42 \cdot 10^{-4} \cdot t_1 \cdot t_2 - 2,79 \cdot 10^{-4} \cdot t_5 \cdot t_6 + 1,01 \cdot t_1 - 4,62 \cdot 10^{-3} \cdot t_4, \\ 31 < t_1 < 245, 23 < t_2 < 73, 0 < t_4 < 30, 0 < t_5 < 74, 0 < t_6 < 127;$$

$$k_r = 0,41 - 6,89 \cdot 10^{-7} \cdot t_2 \cdot t_4 \cdot t_6 + 1,63 \cdot 10^{-3} \cdot t_1 + 8,72 \cdot 10^{-4} \cdot t_2 - 4,54 \cdot 10^{-4} \cdot t_5, \quad (17)$$

$$A = 3,05 - 5,38 \cdot 10^{-7} \cdot t_2^2 \cdot t_4^2 - 6,83 \cdot 10^{-7} \cdot t_6^2 \cdot t_1 + 1,32 \cdot t_1 - 3,54 \cdot 10^{-3} \cdot t_5, \\ 30 < t_1 < 254, 33 < t_2 < 85, 0 < t_4 < 33, 0 < t_5 < 83, 0 < t_6 < 123;$$

$$k_r = 0,43 - 2,23 \cdot 10^{-7} \cdot t_6^2 \cdot t_2 + 2,08 \cdot 10^{-3} \cdot t_1 - 4,28 \cdot 10^{-4} \cdot t_4, \quad (18)$$

$$A = 1,29 - 7,66 \cdot 10^{-5} \cdot t_5^2 - 2,68 \cdot 10^{-4} \cdot t_2 \cdot t_4 + 1,33 \cdot t_1 - 3,68 \cdot 10^{-3} \cdot t_6, \\ 27 < t_1 < 224, 50 < t_2 < 82, 0 < t_4 < 59, 0 < t_5 < 69, 0 < t_6 < 115.$$

Графически представить полученные зависимости не представляется возможным, так как они содержат более двух переменных. Поэтому целесообразно проследить тенденции поведения параметров (k_r и A) отдельно по каждому фактору (t_i), фиксируя остальные ($t_{j(\neq i)}$) на уровне средних значений, представленных в таблице.

Наибольшее отрицательное влияние на надежность и производительность комплексно-механизированных технологий оказывает процесс крепления и управления кровлей: влияние фактора t_6 (непроизводительные затраты времени в процессе крепления и управления кровлей) существенно превалирует над остальными факторами.

Процесс выемки угля оказывает меньше влияния на производительность и надежность комплексно-механизированных технологий, чем крепление и управление кровлей: влияние фактора t_4 (непроизводительные затраты времени в процессе выемки угля) меньше, чем t_6 .

Процесс транспортирования угля отрицательно сказывается на формировании надежности и производительности комплексно-механизированных технологий, что подтверждается отрицательным влия-

нием фактора t_3 (непроизводительные затраты времени в процессе транспортирования угля) на параметры A и k , однако его влияние, чем влияние фактора t_6 .

Выводы.

Сравнительный анализ методов математического моделирования многомерных объектов показал, для формирования математических моделей надежности и производительности комплексно-механизированных технологий очистных работ наиболее приемлем метод группового учета аргументов, позволяющий получать наиболее точные и устойчивые модели при решении многофакторных задач в условиях дефицита информации и высокой зашумленности результатов шахтных экспериментов.

Разработанная методика математического моделирования производственных процессов позволяет на основе краткосрочных хронометражных наблюдений с высокой степенью достоверности определять и прогнозировать значения показателей надежности и производительности механизированных комплексов в конкретных условиях их эксплуатации.

Установлены зависимости надежности и производительности комплексно-механизированных технологий с наиболее распространенными вариантами компоновки оборудования на пологих пластах.

В результате моделирования технологических процессов к комплексно-механизированным очистным забоям установлено, что наибольшее деструктивное воздействие на формирование надежности и производительности очистных забоев оказывает процесс крепления и управления кровлей.

Анализ зависимостей (9)-(18) показал, что в системе "комбайн-конвейер-крепь" наименее надежным элементом является механизированная крепь. Она оказывает наибольшее отрицательное воздействие на формирование технологической надежности и производительности механизированных комплексов. Очевидно, что поиск путей повышения эффективности комплексно-механизированной выемки угольных пластов должен ориентироваться на совершенствование существующих и разработку принципиально новых средств крепления очистных забоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов И.В., Филимонов П.Е., Щербинин Д.В. Мировые рынки угля и техника для очистных забоев // Геотехнологии на рубеже XXI века.- Донецк: 2001.- ДУНПГО. Т. 1. - С. 25-31.
2. Грядущий В.Б. Научные концепции и гипотезы о формировании напряжений в горном массиве на концевых участках лав / Сб. научн. тр. "Геотехническая механика".- ИГТМ НАН Украины, № 48.- 2004.- С. 205-217.
3. Гуменюк А.Н., Пилецкий В.Г., Вожик Л.М., Антипов И.В., Лобков Н.И., Чемерис И.Ф. Современное состояние и перспективы развития топливно-энергетического комплекса Украины // Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва / Під загальною редакцією А.Д. Алексеева.- До-

нецьк: ООО "Алекс", 2003.- С. 42-52.

4. Антипов И.В., Филимонов П.Е., Грядущий В.Б., Гатауллин Н.Н. Шахтные исследования и моделирование геомеханических процессов / Сб. научн. тр. "Геотехническая механика".- ИГТМ НАН Украины, № 30.- 2001.- С. 160-165.
5. Антипов И. В. Системный подход и его применение в горном деле// "Методологические проблемы науки и техники в условиях ускорения социально-экономического развития".- Донецк, 1988.- С. 113-114.
6. Антипов И. В. Структурный анализ затрат времени выполнения процессов очистного цикла// "Системный подход в горном деле. Проблемы, теория, методы".- М, 1991.- С. 28-31.
7. Антипов И. В. Оптимизация продолжительности процессов очистных работ // Разраб. месторождений полез. ископаемых: Респ. межвед. науч.- техн. сб.- 1991.- Вып. 90.- С. 23-28.
8. Антипов И. В., Корнеев М. В. Моделирование надежности технологических процессов методом группового учета аргументов// "Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников".- М., 1990.- С. 202-203.
9. Антипов И.В., Шкуматов А.Н. Моделирование производственных процессов методом группового учета аргументов // Проблемы экологии.- Общегосударственный научно-технический журнал, 2000.- N 1, С. 5-9.