

результате наблюдается почти полное разрушение крепи (см. рис.2).

Такое проявление горного давления вызвано двумя факторами:

- с увеличением глубины увеличивается зона опорного давления, которая превышает длину лавы;
- при безцеликовой отработке запасов выемочные столбы часто подвергаются двухстороннему воздействию опорного давления.

Таким образом, при необходимости расположения выработок в зонах влияния очистных работ в условиях больших глубин необходимо прогнозировать работоспособность систем крепь-массив на основе расчета деформаций в зоне опорного давления и проектировать крепь с учетом деформационного состояния массива горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. Изд. 4-е, дополненное. Л., 1986, 222с. (М-во угольной промышленности СССР.ВНИМИ).
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях/ Министерство угольной промышленности СССР. – М., Недра, 1981, 288с.
3. Халимендик Ю.М., Бегичев С.В., Халимендик В.Ю., Оценка работоспособности металлической крепи // Науковий вісник НГАУ, 2002, №6
4. Кириченко В.Я., Халимендик Ю.М., Мишин А.В., Усаченко Б.М., Явление образования перемещающихся нарушенных зон впереди лавы // Науковий вісник Національної гірничої Академії України, Днепропетровск 2001, №1.

УДК 622.031.2.002.2

В.Г. Шевченко

О ВЫБОРЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДОБЫЧИ УГЛЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТОНКИХ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ

У статті описане дослідження імітаційної моделі яка об'єднує основні технологічні процеси видобутку вугілля при розробці тонких пологих пластів. На прикладі викладено методику вибору раціональних значень параметрів технологічних процесів.

ABOUT SELECTION OF RATIONAL VALUES OF ARGUMENTS OF MASTER SCHEDULES OF A COAL MINING AT DEVELOPMENT OF THIN FLAT SEAMS

In the article the research of the simulation model integrating the main master schedules of a coal mining at development of thin flat seams is described. On an example is stated procedure of selection of rational values of arguments of master schedules.

В сложившейся на сегодняшний день социально-экономической ситуации в угольной отрасли большинство шахт не могут в полной мере реализовать имеющийся у них производственный потенциал. Большие суммы дебиторской задолженности, традиционная человеконасыщенность, несвоевременные выплаты заработной платы и другие факторы не позволяют большинству перспективных шахт выйти на уровень высоких технико-экономических показателей. В связи с этим актуальной является задача исследования технологических про-

цессов подземной добычи угля и выявления внутренних резервов шахты для улучшения ее производственно-экономических показателей. С другой стороны, перед научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими институтами остро стоят вопросы создания научных основ повышения концентрации и интенсификации подземных горных работ, обоснования технологий и технических средств безопасной и эффективной добычи угля и метана высоконагруженными лавами. Для решения данных задач необходимо исследование процессов в шахтной геотехнологической системе и установление основных управляющих факторов данных процессов. Возникает необходимость создания методов исследований технологических процессов угольной шахты, которые в комплексе учитывают параметры данных процессов их взаимосвязи, взаимовлияние и случайную природу протекания.

Исследования процесса добычи угля в реальных условиях требуют значительных денежных затрат, а проведение экспериментов (изменение технологии выемки, изменение схемы транспорта, замена применяемого оборудования, прогноз использования технологии для отработки пластов с отличными горно-геологическими условиями и т.д.) зачастую невозможно. В связи с этим, наиболее целесообразным путем исследования параметров технологических процессов добычи угля и установления их рациональных значений является исследование имитационной модели, объединяющей данные процессы. Имитационная модель позволяет исследователям экспериментировать с системами в тех случаях, когда делать это на реальном объекте практически невозможно или нецелесообразно [1, 2, 3].

В [4] описано разработку и реализацию имитационной модели технологических процессов добычи угля из тонких пологих пластов. Имитационная модель объединяет основные на сегодняшний технологические процессы добычи угля при разработке тонких пологих пластов: процесс выемки угля в лавах, оборудованных механизированными комплексами, процесс проведения подготовительных выработок проходческими комбайнами, процесс конвейерной транспортировки горной массы и процесс электровозной откатки, учитывает взаимосвязь данных процессов их взаимовлияние и случайную природу протекания.

Традиционный метод исследования математических моделей, в том числе имитационных, состоит в рассмотрении факторов (параметров модели) по одному (при прочих равных условиях). Данный метод называется классическим экспериментом. Однофакторный эксперимент целесообразно применять при небольшом числе исследуемых параметров. Другим альтернативным методом исследования есть метод факторного планирования эксперимента, в котором все уровни некоторого фактора комбинируются со всеми уровнями прочих факторов [5]. Для того чтобы определить эффект фактора, этот фактор нужно варьировать (рассматривать на нескольких уровнях).

В качестве основного метода исследования имитационной модели был выбран метод факторного планирования эксперимента.

В связи с большим числом исследуемых параметров (модель учитывает более 150-ти параметров процессов) ее исследование проводилось в следующей последовательности: исследование процесса выемки угля, процесса проведения

подготовительной выработки, процесса транспортирования горной массы конвейерным транспортом, процесса электровозной откатки.

Для исследования технологических процессов добычи угля методом факторного эксперимента было выбрано планирование вида $2k$, т.е. k факторов варьировалось на двух уровнях. Зачастую таких планов достаточно для полноценного описания поверхностей отклика, при таком планировании экономится время и машинные ресурсы (так, при среднем времени счета алгоритма процесса выемки угля 1-1,5 мин (моделирование процесса в течении 3-х рабочих смен) при построении полного факторного эксперимента для 10 параметров требуется 210 - 1024 экспериментов (1024-1536 мин), а при варьировании 10-ти факторов на 3-х уровнях 310 – 59049 экспериментов (59049-88574 мин).

В связи с большим числом факторов, ограниченными возможностями построения таких экспериментов, обработки и исследования результатов все факторы каждого технологического процесса были разбиты на группы. Так, факторы процесса выемки угля механизированным комплексом были разбиты на 6 групп: 1-я группа объединяла параметры выемочной машины, параметры пласта; 2-я - параметры исполнительного органа выемочной машины; 3-я - параметры вентиляции, параметры забойного конвейера; 4-я - параметры пласта, параметры породных прослоек; 5-я - параметры процесса крепления, параметры пласта; 6-я - нормативы времени, параметры надежности процесса. Факторы процесса проведения подготовительной выработки были разбиты на 3 группы: 1-я группа объединяла параметры выработки, время выполнения операций; 2-я - параметры проходческого комбайна, параметры отработки; 3-я - нормативы времени, параметры надежности процесса. Для процесса конвейерной транспортировки горной массы был проведен полный факторный эксперимент по всем факторам. Факторы процесса электровозной откатки были разбиты на следующие группы: 1-я группа - параметры погрузочных пунктов, параметры околоствольного двора; 2-я - параметры околоствольного двора, параметры электровозов; 3-я - параметры погрузочных пунктов, параметры электровозов, параметры путевого развития.

В качестве выходных показателей (откликов) были выбраны: для процесса выемки угля механизированным комплексом – коэффициент готовности процесса выемки - k_z (Y1); коэффициент машинного времени - k_m (Y2); количество добытого угля - Q (Y3), т; подвигание линии очистного забоя - S (Y4), м; средняя зольность добытого угля - A_c (Y5), %; приведенная степень измельчения угля выемочной машиной - K_m (Y6); содержание в добытом угле фракций диаметром менее 13 мм - $d < 13$ (Y7), %. Для процесса проведения подготовительной выработки - коэффициент готовности процесса - k_z (Y1); коэффициент машинного времени - k_m (Y2); количество добытой горной массы - Q (Y3), т; подвигание линии подготовительного забоя - S (Y4), м; средняя зольность добытого угля - A_c (Y5), %. Для процесса конвейерной транспортировки горной массы в качестве выходного показателя было выбрано время работы (простоев) очистных (подготовительных) забоев - T_p (Y1), % от общего времени. Для процесса элек-

тровоной откатки в качестве откликов были определены: время простоев погрузочных пунктов из-за отсутствия груза - T_n^{oz} (Y1), из-за недостатка резерва грузовой ветви - T_n^{zs} (Y2), из-за недостатка порожних вагонеток - T_n^{ng} (Y3) и общее время работы - T_p (Y4), % от общего времени.

Для исследования процесса конвейерной транспортировки горной массы были рассмотрены следующие типовые схемы конвейерного транспорта: схема 1 - транспортирования горной массы очистных (подготовительных) забоев до погрузочного пункта (околоствольного двора) последовательно установленными N конвейерами; схема 2- транспортирования горной массы до погрузочного пункта N последовательно расположенными конвейерами с N-1 бункерами; схема 3 - транспортирования горной массы нескольких очистных (подготовительных) забоев при наличии общего сборного конвейера (без бункеров); схема 4 - транспортирования горной массы нескольких очистных (подготовительных) забоев при наличии общего сборного конвейера и бункера. Для исследования параметров процесса откатки горной массы электровозами было выбрано для рассмотрения 2 транспортные схемы: схема 1 - откатка горной массы 3-х погрузочных пунктов; схема 2 - откатка горной массы 5-ти погрузочных пунктов с увеличенным расстоянием откатки для 2-х погрузочных пунктов.

По каждой группе факторов проводился полный факторный эксперимент, строились регрессионные модели, результаты экспериментов обрабатывались методами дисперсионного и регрессионного анализа: оценивалась значимость уравнений регрессии в целом и отдельно коэффициентов, определялись факторы, оказывающие доминирующее влияние на функцию отклика, отсеивались незначимые факторы. В результате экспериментов по группам факторов каждого технологического процесса были выделены факторы, оказывающие доминирующее влияние на выходные показатели процессов (отклики).

Для исследования влияния главных (доминирующих) факторов была использована дробная реплика от полного факторного эксперимента. Проведение эксперимента с применением дробной реплики стало возможно, так как по большинству групп факторов результаты обработки экспериментов подтвердили адекватность представления поверхностей отклика линейными полиномами.

На данном этапе в качестве основного выходного показателя (отклика) был выбран экономический показатель - доход от реализации угля. Доход от реализации находится в линейной зависимости от количества реализуемого угля и его зольности. Перечень цен на угольную продукцию в соответствии с установленным прейскурантом стимулирует продажу угля с большим содержанием крупных фракций. Для своевременного воспроизводства фронта очистных работ, необходимо, чтобы скорость проведения подготовительных выработок была не меньше скорости подвигания очистного забоя, с учетом резерва времени на непредвиденные простои. В связи с этим главным показателем процесса проведения подготовительной выработки является скорость подвигания подготовительного забоя, так как задержки в воспроизводстве фронта работ отразятся на количестве добываемого из очистных забоев угля и, следовательно, на экономическом показателе – доходе от его реализации. Также необходимо

стремиться к уменьшению простоев очистных (подготовительных) забоев по причине неработоспособности транспортной системы и по возможности обеспечивать время простоев (T_n) = 0.

В табл. 1 приведены факторы процесса выемки угля механизированным комплексом, оказывающие доминирующее влияние на отклики: количество (Y3), зольность (Y5) и крупность добытого угля (Y7).

Для исследования влияния факторов представленных в табл. 1 на отклик Y8 – доход от реализации угля была реализована реплика типа 2^{16-8} , в которой факторы 9-16 были приравнены к парным взаимодействиям факторов 1-8. Такая замена возможна при наличии сведений о том, что на отклики не оказывают совместное влияние приведенные выше факторы.

Таблица 1 - Доминирующие факторы и диапазоны их варьирования

Наименование фактора (обозначение)	Ед. изм.	Основной уровень	Интервал варьирования	Нижний уровень	Верхний уровень
1. Среднее время наработки на отказ комбайна (X1)	мин	55	100	5	105
2. Среднее время восстановления комбайна (X2)	мин	55	100	5	105
3. Суммарная мощность двигателей комбайна (X3)	кВт	300	200	200	400
4. Мат. ожидание вынимаемой мощности пласта (X4)	м	0,9	0,2	0,8	1,0
5. Мат. ожидание ширины захвата выемочной машины (X5)	м	0,7	0,2	0,6	0,8
6. Мат. ожидание сопротивляемости пласта резанию (X6)	кгс	250	100	200	300
7. Частота вращения исполнительного органа (X7)	с ⁻¹	2,25	1,5	1,5	3,0
8. Диаметр исполнительного органа по резцам (X8)	м	1,1	0,2	1,0	1,2
9. Относительная метанообильность пласта (X9)	м ³ /т	9	12	3	15
10. Среднее время передвижки секции крепи (X10)	с	60	100	10	110
11. Продолжительность концевых операций (X11)	мин	25	40	5	45
12. Машинная длина лавы (X12)	м	150	100	100	200
13. Среднее время наработки на отказ механизированной крепи (X13)	мин	55	100	5	105
14. Среднее время восстановления механизированной крепи (X14)	мин	55	100	5	105
15. Число резцов исполнительного органа (X15)	шт	29	14	22	36
16. Мат. ожидание суммарной мощности породных прослоек (X16)	м	0,1	0,1	0,05	0,15

Результаты эксперимента для отклика Y8 представлены в табл. 2. В табл. 2 приведены данные экспериментов для реализации рядового угля Гр 0-200 мм в соответствии с прейскурантной ценой и нормативами приплат и скидок на этот уголь.

Таблица 2 - Коэффициенты регрессии и уровни значимости факторов

	Y8	
	Коэффициенты (ki)	t-статистика
B0	-15476	-1.78645
X1	64.4783	6.764281
X2	-60.471	-8.97157
X3	32.8306	6.888383
X4	35129.9	6.018233
X5	40606.1	6.956395
X6	-62.74	-6.58197
X7	-2960.9	-4.65934
X8	-12847	-2.2008
X9	-23.929	-0.42602
X10	0.73113	0.108472
X11	-63.369	-1.88031
X12	-9.2303	-1.54061
X13	33.0317	2.450325
X14	-20.203	-2.9973
X15	-272.83	-2.83344
X16	21458.8	1.591839
F-отношение		42.29788

На рис. 1 представлены интенсивности влияния факторов на выходной показатель Y8 – доход от реализации угля в порядке их убывания, а также уровень значимости факторов по t-критерию Стьюдента, при заданных интервалах варьирования. Факторы, оказывающие отрицательное влияние на функцию отклика выделены темным оттенком.

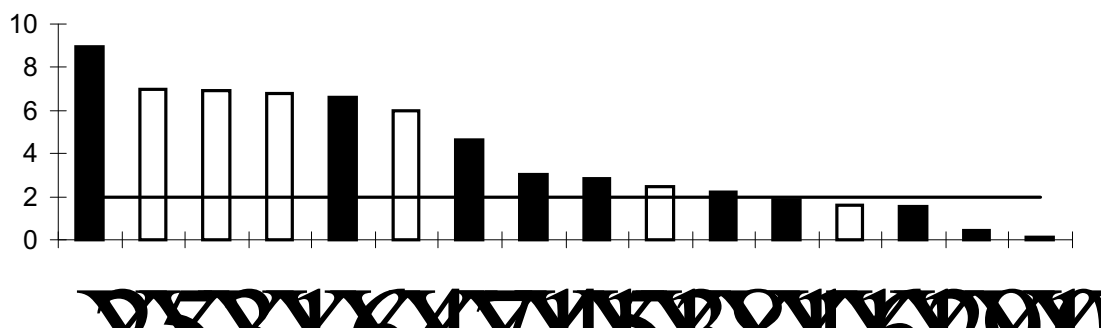


Рис. 1 - Интенсивность влияния факторов на выходной показатель Y8 – доход от реализации угля

Из данных табл. 2 и рис. 1 видно, что факторами, определяющими доход от реализации угля, являются: X2 – среднее время восстановления комбайна, X5 – ширина захвата, X3 – суммарная мощность двигателей комбайна, X1 – среднее

время наработки на отказ комбайна, X6 – мат. ожидание сопротивляемости пласта резанию, X4 – мат. ожидание вынимаемой мощности пласта, X7 – частота вращения исполнительного органа. Значимыми факторами, но оказывающими меньшее влияние являются X14 – среднее время восстановления крепи, X15 – число резцов исполнительного органа, X13 – среднее время наработки на отказ крепи, X8 – диаметр исполнительного органа и X11 – продолжительность концевых операций. Незначимыми оказались: X16 – суммарная мощность породных прослоек, X12 – машинная длина лавы; X9 – относительная метанообильность пласта и X10 – среднее время передвижки секции крепи.

На рис. 2 представлены гистограммы изменения выходного показателя Y8 – дохода от реализации на каждом шаге факторного эксперимента.

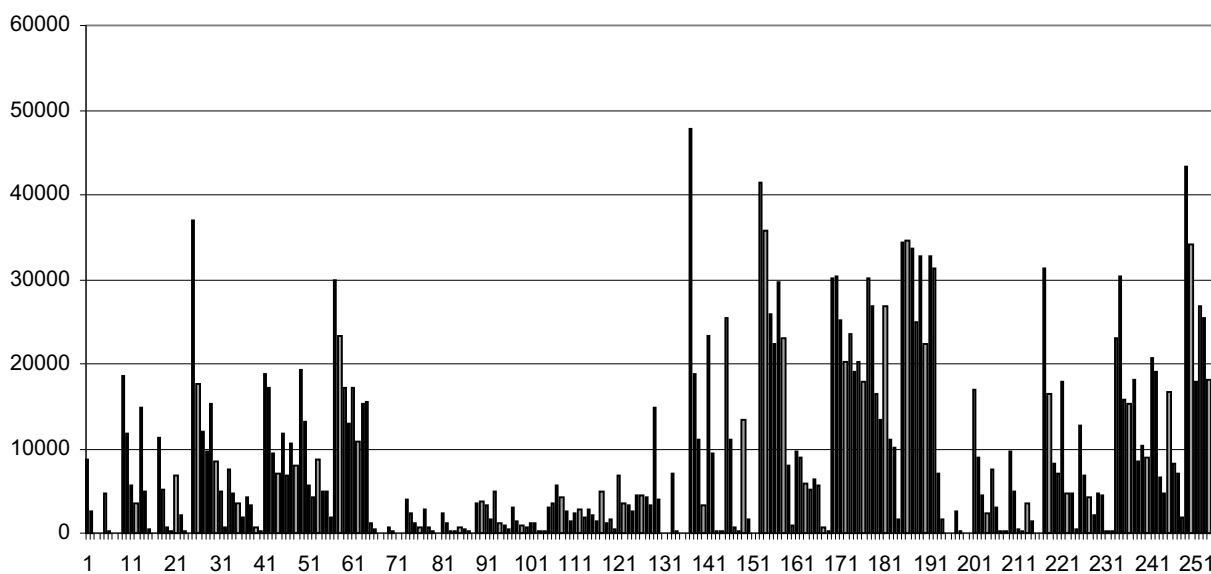


Рис. 2 - Изменение выходного показателя Y8 – доход от реализации угля (грн) на каждом шаге факторного эксперимента

Анализ данных экспериментов показывает, что максимальные значения были достигнуты на 137 шаге. Значения факторов для шага 137 приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Значения факторов

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16
137	105	5	200	0,8	0,8	200	1,5	1,0	15	10	5	300	105	5	22	0,15

Значения факторов указанные в табл. 3, при которых достигается максимальный доход от реализации добытого угля, являются оптимальными.

Основываясь на данных табл. 1-3 можно наметить направление восхождения по поверхности отклика Y8 при изменении значимых факторов. Умножая коэффициенты на интервал варьирования, получим шаг приращения каждого фактора. За нулевой (основной) уровень факторов необходимо принимать условия опыта 137.

Анализ результатов экспериментов восхождения по поверхности отклика показывает, что для факторов X1, X3, X4, X5, X13 – рациональным будет уве-

личение их значений до максимально возможных в данном очистном забое, для факторов X2, X6, X7, X8, X11, X14 и X15 – уменьшение их значений до минимально возможных.

Среди значимых параметров процесса проведения подготовительной выработки были выделены: диаметр исполнительного органа проходческого комбайна (X1), м; ширина захвата исполнительного органа (X2), м; шаг крепления (X3), м; мощность пласта (X4) (при проведении выработки смешанным забоем), м; высота выработки (X5), м; скорость перемещения исполнительного органа по углу (X6) и по породе (X7), м/мин; ширина выработки (X8), м; среднее время наработки на отказ комбайна (X9), мин; среднее время восстановления комбайна (X10), мин; среднее время наработки процесса на отказ по горным факторам (X11), мин; среднее время восстановления процесса по горным факторам (X12), мин; среднее время внедрения исполнительного органа в пласт (X13), мин; среднее время подачи комбайна на забой (X14), мин; среднее время установки рамы крепи и затяжки кровли и боков выработки (X15), мин; среднее время устранения вывала (X16), мин. По данной группе факторов был проведен эксперимент с применением дробной реплики 2^{16-8} . Результаты эксперимента показали, что на отклики Y3 - количество добытой горной массы и Y4 - подвигание подготовительного забоя оказывают влияние факторы X1, X2, X5, X9, X10, X11, X12, X13, а на Y3 также фактор X16; Y5 - зольность добытой горной массы определяется X1, X4, X5 и X12.

На рис. 3 представлены интенсивности влияния факторов на выходной показатель Y4 и уровень значимости t-критерия Стьюдента.

На рис. 4 представлены гистограммы изменения выходного показателя Y4 – подвигание подготовительного забоя на каждом шаге эксперимента.

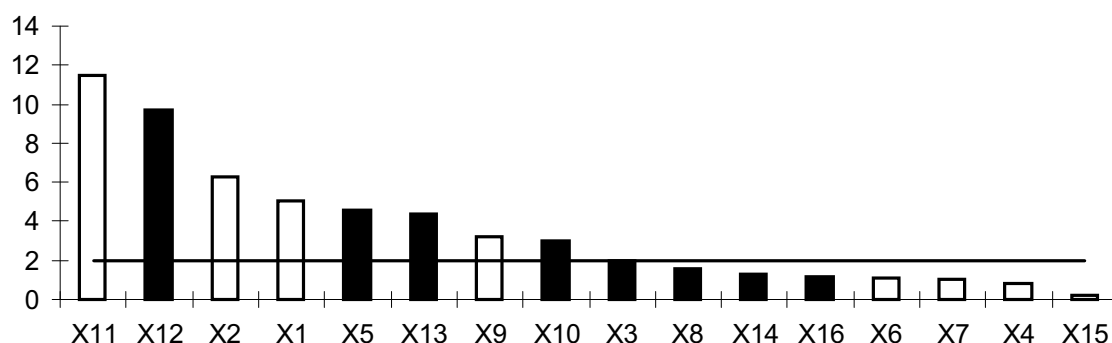


Рис. 3 - Интенсивность влияния факторов на выходной показатель Y4 – подвигание подготовительного забоя

Максимальное значение параметра Y4 (16,8 м) было достигнуто на 209-м шаге эксперимента. Значения факторов на 209-м шаге эксперимента приведено в табл. 4.

Таблица 4 - Значения факторов

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16
209	0.6	0.6	1	5	3	0.9	0.5	4	105	105	105	105	5	5	10	5

Основываясь на результатах эксперимента можно наметить направление восхождения по поверхности отклика Y_4 при изменении значимых факторов. За нулевой (основной) уровень факторов необходимо принимать условия опыта 209.

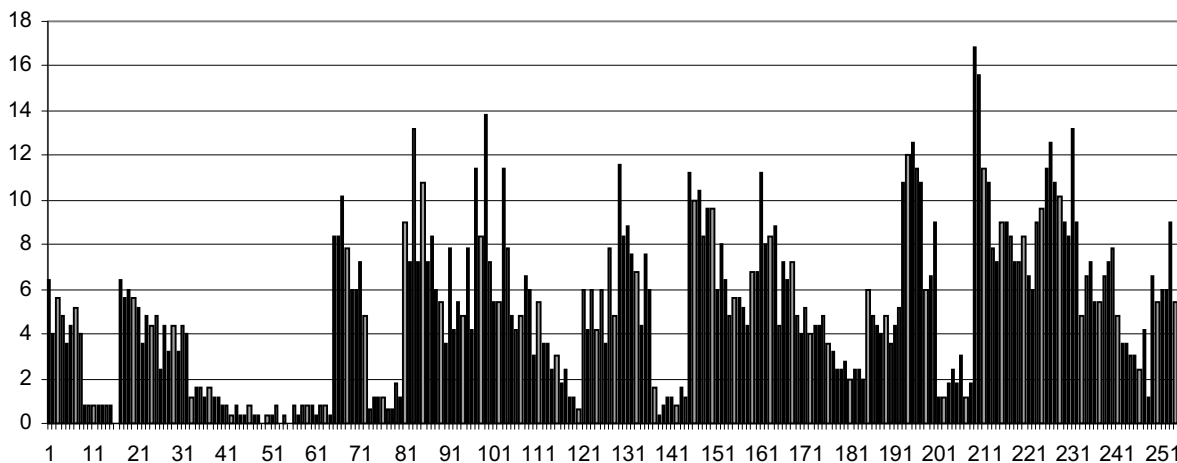


Рис. 4 - Изменение выходного показателя Y_4 – подвигание подготовительного забоя (м) на каждом шаге эксперимента

Результаты восхождения по поверхности отклика показали, что для достижения максимальной величины подвигания подготовительного забоя рациональным будет увеличение значений факторов X_1 , X_2 , X_9 , X_{11} и уменьшение значений для факторов X_3 , X_5 , X_{10} , X_{12} и X_{13} . Если темпы проведения подготовительной выработки заданы, необходимо принимать те значения параметров, при которых в процессе эксперимента достигалось заданное подвигание забоя. В последнем случае возможно несколько вариантов значений параметров. В данной ситуации оптимальные значения параметров необходимо принимать по экономическим критериям, с учетом технических и технологических ограничений существующих в данном подготовительном забое.

Анализ результатов экспериментов для процесса конвейерной транспортировки горной массы показал, что для схемы 1 (с N последовательно установленными конвейерами) помимо факторов X_2 и X_3 (среднее время наработки на отказ и восстановления очистных/подготовительных забоев, мин) на отклик Y (время работы (простоев) очистных (подготовительных) забоев) оказывают влияние только факторы X_7 и X_8 (среднее время наработки на отказ и восстановления конвейеров), а для схемы 2 (с N последовательно установленными конвейерами и $N-1$ бункерами) также факторы X_1 (мат. ожидание количества горной массы поступающей из очистных/подготовительных забоев на вход конвейерной транспортной системы, т) и X_9 (емкость бункеров, т).

Анализ данных полного факторного эксперимента для схемы 1 показал, что минимальные простои обеспечивались при значениях доминирующих факторов $X_7=100$ мин и $X_8=20$ мин. Коэффициенты при данных факторах соответственно равны 15,71 и -14,0. Данные значения позволяют определить направление движения по поверхности отклика для значимых факторов. Оптимальные значения отклика будут достигнуты при уменьшении значения фактора X_8 до ми-

нимально возможного и увеличении значения X_7 до максимально возможного для всех конвейеров транспортной схемы. Анализ данных для схемы 2 показывает, что в данном случае значимыми являются также факторы X_1 и X_9 . Минимальные простои обеспечивались при значениях доминирующих факторов $X_7=100$ мин, $X_8=20$ мин и $X_9=120$ т при значении фактора $X_1=300$ т/см. Значения коэффициентов при факторах соответственно равны 0,09; -0,14, 0,06 и $-1E-05$. Данное обстоятельство указывает, что рациональным будет увеличение значений факторов X_7 , X_9 и уменьшение X_8 , X_1 . Малое значение коэффициента при X_1 указывает на небольшое значение шага варьирования данного фактора при восхождении по поверхности отклика. Таким образом необходим выбор рациональных значений факторов X_7 , X_8 и X_9 .

Учитывая вышеизложенное, необходимо отметить, что выбор рациональных значений параметров процесса конвейерной транспортировки зависит от принятой схемы транспорта и заключается в определении оптимальных значений параметров ее элементов, при которых обеспечиваются минимально возможные простои очистных/подготовительных забоев.

В результате экспериментов исследования процесса электровозной откатки были выделены факторы, оказывающие наибольшее влияние на выходной показатель Y – время работы (простоев) погрузочных пунктов. Факторы и диапазоны их варьирования представлены в табл. 5.

По данной группе факторов был проведен факторный эксперимент с применением дробной реплики 2^{16-8} . Эксперимент проводился для схем 1 (откатки горной массы 3-х погрузочных пунктов) и 2 (откатки горной массы 5-ти погрузочных пунктов). На рис. 5 представлены интенсивности влияния факторов в порядке убывания на выходной показатель Y – среднее время работы (простоев) погрузочных пунктов.

Как видно из рис. 5, для обеих схем значимыми оказались факторы X_9, X_5, X_{10}, X_6 и X_{12} , а для схемы 2 – факторы X_4 и X_{11} . На рис. 6 представлено изменение выходного показателя Y на каждом шаге эксперимента.

Анализ данных показывает, что наилучшие результаты (наименьшие простои погрузочных пунктов) были достигнуты для схемы 1 на 84-м шаге – $Y = 79,06$ %, для схемы 2 – на 84-м и 86-м шаге Y равен соответственно 75,23 и 76,18 %. Значения факторов на 84-м шаге эксперимента приведены в табл. 6.

Данные табл. 6 и результаты факторного планирования эксперимента позволяют выделить желательные уровни факторов и определить направление восхождения по поверхности отклика.

В табл. 7 представлены исходные данные для движения по поверхности отклика Y .

Анализ данных табл. 7 свидетельствует о необходимости уменьшения значений факторов X_5 и X_6 и увеличения значений факторов X_9 , X_{10} и X_{12} . В 4-м столбце табл. 7 приведены величины, полученные после умножения коэффициентов регрессии на интервал варьирования соответствующих переменных. Пользуясь этими величинами, можно наметить серию опытов для крутого восхождения по поверхности отклика.

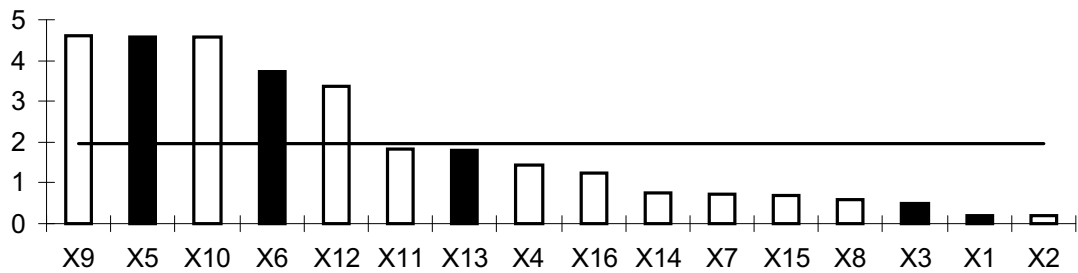
Таблица 5 - Доминирующие факторы и диапазоны их варьирования

Наименование фактора (обозначение)	Ед. изм.	Основ- ной уро- вень	Интервал варьирова- ния	Нижний уровень	Верхний уровень
1. Начальный резерв груженых ваго- неток в околоствольном дворе (X1)	т	35	70	0	70
2. Начальный резерв порожних ваго- неток в околоствольном дворе (X2)	т	35	70	0	70
3. Время маневров электровозов в околоствольном дворе (X3)	мин	20	30	5	35
4. Количество действующих электро- возов (X4)	шт	3,5	3	2	5
5. Количество вагонеток в составе (X5)	шт	37,5	25	25	50
6. Емкость вагонетки (X6)	т	4,5	3	3	6
7. Ср. скорость электровоза (X7)	м/с	4	6	1	7
8. Параметр, определяющий момент вызова электровоза к погрузочному пункту (соответствует работе диспет- чера) (X8)	мин	55	90	10	100
9. Емкость грузовой ветви околос- твольного двора (X9)	т	150	150	50	200
10. Емкость порожняковой ветви околоствольного двора (X10)	т	150	150	50	200
11. Емкость грузовой ветви погруз- очных пунктов (X11)	т	125	100	75	175
12. Емкость порожняковой ветви по- грузочных пунктов (X12)	т	125	100	75	175
13. Производительность погрузочных пунктов (X13)	т/ми н	6,5	7	3	10
14. Производительность разгрузки околоствольного двора (X14)	т/ми н	6,5	7	3	10
15. Начальный резерв груженых ва- гонеток погрузочных пунктов (X15)	т	12,5	25	0	25
16. Начальный резерв порожних ва- гонеток погрузочных пунктов (X16)	т	12,5	25	0	25

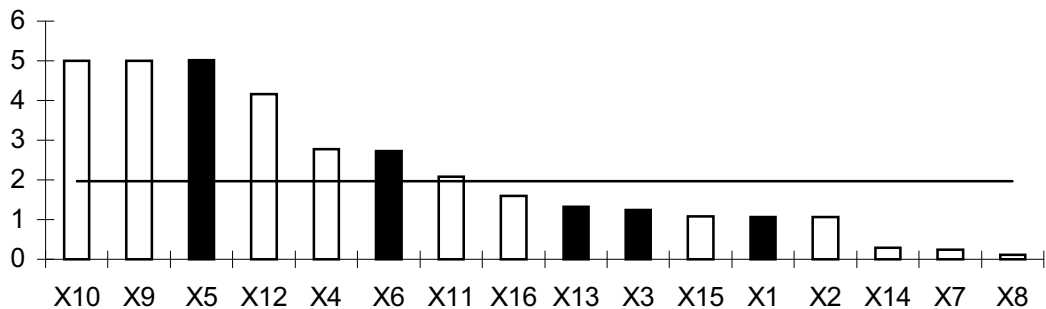
Уже на первом шаге эксперимента простои погрузочных пунктов были равны 0. Значения факторов X5, X9, X10, X12 при которых обеспечиваются минимальные простои погрузочных пунктов являются оптимальными для данной схемы транспорта. Дальнейшее движение по поверхности отклика не имеет смысла.

В реальных условиях варьирование такими параметрами как X9, X10 – емкости грузовой/порожняковой ветвей околоствольного двора, X12 – емкость порожняковой ветви погрузочных пунктов может быть не осуществимо. Т.е. область значений для каждого фактора может иметь ограничения. В данном случае необходимо проводить эксперименты при варьировании тех параметров, для которых критические значения не достигнуты.

а)



б)



а) для схемы 1; б) для схемы 2

Рис. 5 - Интенсивность влияния факторов на выходной показатель Y – среднее время работы (простоев) погрузочных пунктов

Таблица 6 - Значения факторов

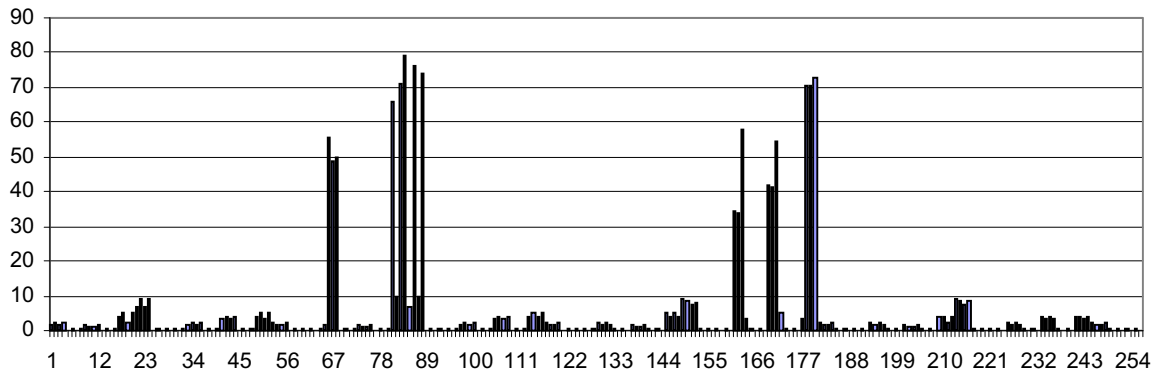
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16
84	0	70	5	5	25	3	7	100	200	200	175	175	3	10	0	25

В заключение необходимо отметить, что полученные в результате исследований модели значения параметров являются рациональными с технологической точки зрения. Окончательный же выбор рациональных параметров необходимо осуществлять по экономическим критериям, учитывая денежные затраты, которые повлекут за собой изменения значений параметров определенного процесса, с учетом тех ограничений, которые накладываются существующей технологией ведения добычи угля на конкретной шахте.

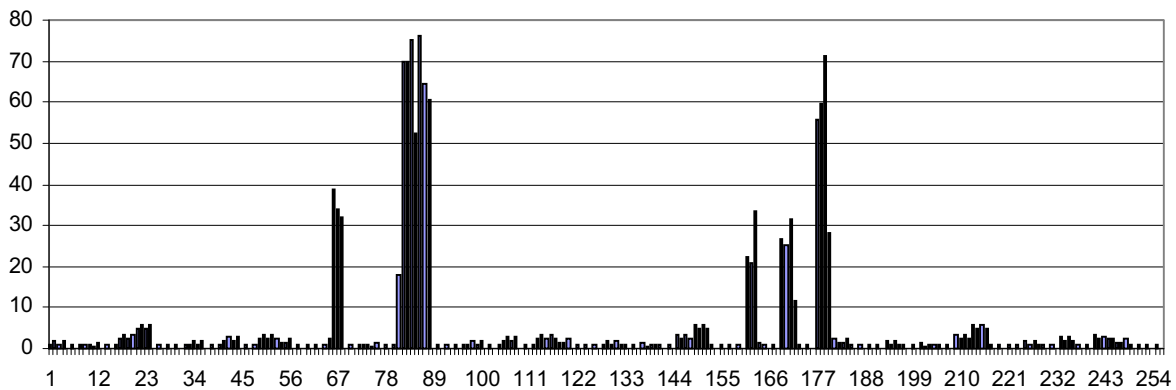
Таблица 7 - Исходные данные экспериментов для движения по поверхности отклика для значимых факторов

Фактор	Интервал варьирования (di)	Коэффициенты ki	Шаг (ki × di)	Начало опытов (нулевой уровень факторов)	Нулевой уровень + шаг
X5	25	-0.29339	-7.33475	25	17.66525
X6	3	-1.99494	-5.98482	3	-2.98482
X9	150	0.049313	7.39695	200	207.397
X10	150	0.048885	7.33275	200	207.3328
X12	100	0.054049	5.4049	175	180.4049

а)



б)



а) для схемы 1; б) для схемы 2

Рис. 6 - Изменение выходного показателя Y – время работы погрузочных пунктов (%) на каждом шаге эксперимента

Основываясь на данных табл. 7 был проведен эксперимент. Данные эксперимента приведены в табл. 8.

Таблица 8 - Данные эксперимента

Значения факторов				Значение отклика Y
X5	X9	X10	X12	
18	207	207	180	0

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее целесообразным путем исследования параметров технологических процессов добычи угля и установления их рациональных значений является исследование имитационной модели описывающей данные технологические процессы с учетом их взаимосвязи, взаимовлияния и случайной природы протекания.

2. Основным методом исследования моделей сложных систем, таких как угольная шахта, включающих большое число факторов, является метод фак-

торного планирования эксперимента. Рациональные значения параметров технологических процессов можно получить методом крутого восхождения по поверхности отклика, путем проведения экспериментов для наиболее важных факторов (при существующих интервалах их варьирования) по каждому технологическому процессу.

3. При выборе рациональных значений параметров необходимо учитывать экономические, технические и технологические ограничения, накладываемые на область значений данных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гойзман Э.И. Моделирование производственных процессов на шахтах. М.: Недра, 1977. 192 с.
2. В.И. Штеле. Имитационное моделирование развития подземных горных работ. – Новосибирск: Наука, 1984. 177 с.
3. В.Л. Коных. Имитация горных работ на персональном компьютере. «Уголь», № 9. 2000. с. 33-35.
4. Шевченко В.Г. Имитационное моделирование технологических процессов шахты // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Сб. научн. трудов. – Донецк: «Норд-пресс», 2003. с. 42-43.
5. В.В. Налимов, Н.А. Чернова. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.