

УДК 658.012.23

Л.Н. ЗАХАРОВА¹, В.В. НАЗИМКО²¹ *Донецкий государственный университет управления, Украина*² *Донецкий национальный технический университет, Украина*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ И ЕЕ РИСКОВ В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Для анализа чувствительности программы развития горных работ на угольной шахте разработана стохастическая модель, которая базируется на ориентированном мультиграфе, веса которого вычисляются с помощью процедуры сэмплинга. Вариация случайных значений темпов основных процессов добычи угля вычислялась с помощью специально натренированной искусственной нейронной сети. Установлены параметры случайных функций темпов подготовки и добычи угля, а также доказана максимальная чувствительность проекта подземной угледобычи к фактору малоамплитудной нарушенности.

Ключевые слова: *стохастическое моделирование, управление проектами и программами, риски, чувствительность проекта, нейронные сети.*

Введение

Угольная промышленность является гарантом энергетической независимости Украины. Учитывая растущую нестабильность мировой экономики, исчерпание запасов нефти и газа, а также политические проблемы, связанные с поставкой указанных ресурсов из-за рубежа, следует сделать вывод о стратегическом значении собственного угля для обеспечения энергетических и сырьевых потребностей экономики нашего государства. Украина занимает 3-4 место в мире по промышленным запасам угля, хотя они характеризуются определенными особенностями.

Так средняя глубина разработки на угольных шахтах Украины достигла 740м, а ряд современных высокопроизводительных предприятий достигли глубин 1200м и более. Пласты, отработываемые на глубине более 800-900м склонны к газодинамическим явлениям и содержат высокое количество взрывоопасного газа метана. Почти все шахтопласты повреждены малоамплитудными нарушениями, в окрестности которых повышается вероятность газодинамических явлений, резко уменьшается устойчивость кровли горных выработок. При переходе таких нарушений горными работами часто возникают аварии, при которых выходит из строя горношахтное оборудование. Вышеуказанные факторы повышают внутренние риски, снижая темпы добычи угля в несколько раз, поскольку на сегодня практически все разведанные запасы характеризуются низкой достоверностью данных о малоамплитудных нарушениях, которые могут существенно ухудшить условия отработки угольных пластов. Это негатив-

но сказывается на финансовом состоянии угольных шахт и затрудняет подготовку и выемку новых запасов. В связи с этим особую актуальность имеет проблема надежного планирования и управления основными процессами добычи угля с учетом внутренних рисков горного производства.

Несмотря на то, что добыча угля осуществляется в поточном режиме, по своей структуре программа развития горных работ угольной шахты очень близка к проектно-ориентированному стилю управления производством. Шахтное поле разбивается на блоки, горизонты или панели и каждый блок рассматривается как отдельный объект, для отработки которого составляется проект, содержащий все характерные фазы, начиная от прединвестиционной и заканчивая демонтажем оборудования из остановленных забоев и погашением горных выработок.

Одним из важнейших компонент процесса управления проектом является исследование его чувствительности на вариацию отдельных факторов, оказывающих существенное влияние на ход проекта. Такую задачу можно решить только с помощью математических имитационных моделей, позволяющих учесть все многообразие влияющих факторов и сложной структуры исследуемого процесса, а также всех фаз проекта и его параметров [1 – 3].

Анализ существующих публикаций [1 – 6] в рамках очерченной проблемы позволяет сделать вывод о том, что на сегодня нет математических моделей для описания проектов добычи угля с учетом стохастичности основных процессов горного производства (подготовки и добычи угля). Большинство исследований связано с анализом экономи-

ческого состояния угольных шахт и совершенствованием методов их управления без учета особенностей основных процессов горного производства, которые и лежат в основе экономики угледобывающих предприятий [4 – 6]. Ряд исследовательских работ посвящены вспомогательным процессам, имеющим самостоятельное значение с точки зрения управления состоянием массива горных пород [7], или безопасностью горных работ [8]. Вместе с тем программа развития горных работ является основным инструментом планирования и управления подземной добычей угля. Указанная программа планируется и выполняется в весьма жестких условиях ограниченности материальных, финансовых, трудовых ресурсов и времени. Реализация перспективного или текущего проекта отработки запасов шахтного поля осуществляется на фоне высокой степени неопределенности, порождающей значительные внутренние риски предприятия. Таким образом, на сегодня остаются нерешенными следующие проблемы:

- на сегодня нет математической модели программы развития горных работ на угольной шахте;
- составление программы развития горных работ осуществляется без учета неопределенностей, порождающих высокие внутренние риски предприятия из-за недостоверной разведки горно-геологических условий отработки запасов и, в частности, малоамплитудной нарушенности шахтного поля;
- отсутствие модели не дает возможности исследовать чувствительность проекта отработки запасов и установить факторы, к вариации которых программа развития горных работ является наиболее уязвимой.

В связи с этим **целью** данной работы является выявление факторов, к которым проект отработки блока шахтного поля угольной шахты имеет максимальную чувствительность. Для достижения поставленной цели необходимо решить **задачу** разработки стохастической модели программы развития горных работ и обоснования методики ее исследования на чувствительность.

Постановка задачи и разработка стохастической модели программы развития горных работ

Основные процессы горного производства, которыми являются подготовка и выемка запасов угля, выполняются в весьма стесненных условиях подземного пространства, которые обуславливают тесную причинно-следственную зависимость отдельных операций и процессов подготовки и выемки угля. Так, например, очистной или проходческий комбайн невозможно даже развернуть в рабочем пространстве горной выработки и для перемещения

комбайна в другой забой его разбирают на блоки и перевозят по частям, а затем собирают на новом месте. В связи с этим последовательность процессов горного производства представляет собой логически тесно связанную причинно-следственную связь событий, которые можно описать терминами условной вероятности.

Например, если темпы проходки конвейерного штрека будут ниже на 30% планируемых, тогда очистной забой будет введен в действие с опозданием на 4 месяца, в результате чего плановая добыча будет недовыполнена на 350 тыс тонн. В общем виде такая причинно-следственная связь описывается средствами математических графов [7].

Граф представляет собой сетевую модель и состоит из событий или отдельных моментов времени, которые связаны между собой дугами. Сетевая модель будет состоять из десятков, а то и сотен событий, которые связаны между собой направленными от прошлого к будущему дугами. Поэтому данную модель принято именовать мультиграфом, который является асимметрическим (направленным). Преимущество сетевой модели в виде графа заключается в его универсальности и пригодности описать любую структуру управления и взаимосвязи отдельных процессов и операций.

Одним из наиболее важных параметров сети является критический путь, от которого зависит время выполнения всего проекта или программы. В данной работе для нахождения критического пути применен алгоритм Дж. Келли и М. Фишберга [10 – 12]. Веса дуг мультиграфа определяются с помощью специально разработанных математических моделей. Для обеспечения достоверности указанные модели строились на основании статистической обработки фактических показателей работы проходческих и добычных участков (рис. 1). Так темпы подготовительной выработки находятся по зависимости

$$v = v_0 \exp(-0,035t) \pm \Delta, \quad (1)$$

где v_0 – начальная скорость проведения выработки, t – время проходки, Δ – случайная вариация темпов проходки.

Начальные темпы проходки определяются горно-геологическими условиями, а также применяемой техникой для проведения выработки, типом и плотностью крепи. Как видим, темпы проходки имеют трендовую и стохастическую составляющую.

Темпы добычи из очистного забоя определяются согласно зависимости

$$D = d_0 \pm \Delta_1, \quad (2)$$

где d_0 – плановая добыча, рассчитанная согласно нормативной методики, Δ_1 – вариация добычи.

Амплитуда случайной вариации темпов проведения подготовительных выработок и подвигания очистных забоев находится путем сэмплинга темпов

проходки и подвигания лав из распределений, параметры которых были установлены на основе статистической обработки фактических данных. Проверка полученных выборок с помощью критерия Пирсона подтвердила, что гистограммы вариации темпов подготовительных и очистных работ не противоречат нормальным или усеченным нормальным распределениям. При этом величина вариации добычи зависит от абсолютной величины добычи (рис. 2).

При реализации процедуры саплинга учитывалась возможная корреляция между отдельными входными величинами. Если входные факторы коррелируют между собой, тогда применяется следующий подход (рис. 3). Пусть корреляция между факторами симметричная. В этом случае при очередном запуске стохастической модели случайное значение фактора 1 выбирается из всего диапазона на графике

рис. 3,а. Значение фактора 2 выбирается из диапазона на 1 (то есть из диапазона от 50 до 135), выделенного фигурной скобкой согласно распределению, полученному на сечении графика при выбранной величине фактора 1. На следующем запуске стохастической модели из всей шкалы выбирают случайное значение фактора 2 (рис. 3,б), а случайное значение фактора 1 выбирают на диапазоне 2 то есть в пределах от 0 до 60.

Таким образом, соблюдается физический смысл возможных связей между входными факторами. Например, при положительной корреляции между факторами при случайном выборе малого значения первого фактора, случайно отобранное значение второго фактора также будет выбираться в пределах малых возможных величин. При отрицательной корреляционной связи наоборот.

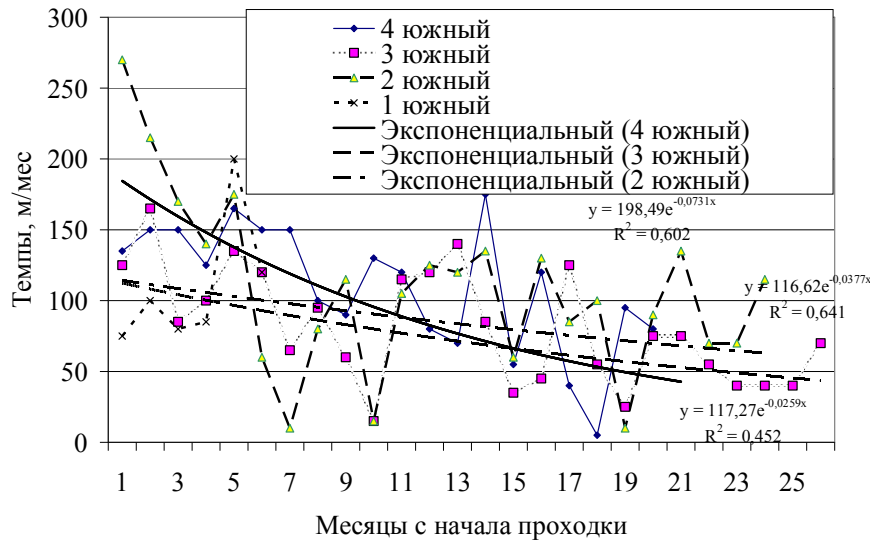


Рис. 1. Характер изменения темпов проходки с удлинением выработки при неизменной технологии и условий проведения

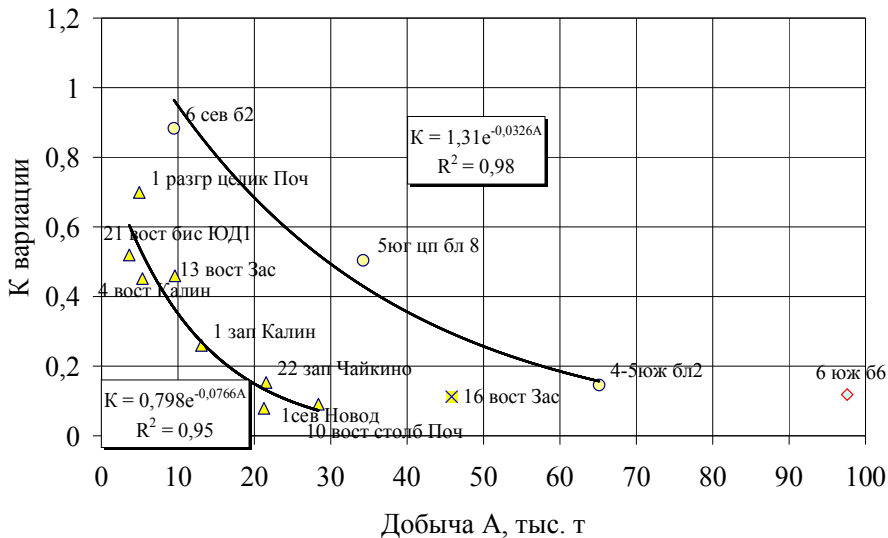


Рис. 2. Зависимость вариации добычи от ее абсолютной величины

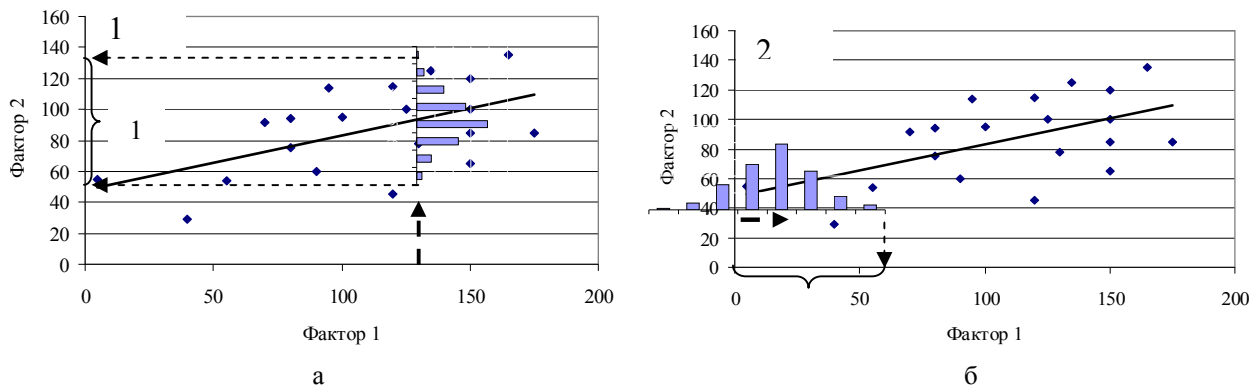


Рис. 3. Техника са́мплинга с учетом корреляции между входными факторами

Стохастическая модель многократно запускается при одних и тех же начальных условиях и одинаковой архитектуре сетевого графа программы развития горных работ. При каждом запуске стохастической модели все входные величины будут выбираться из случайных значений. В связи с этим решения при каждом запуске модели будут отличаться. В результате появляется вместо одного критического пути целый список таких путей. При этом алгоритм подсчитывает число появлений каждого индивидуального критического пути. При большом числе запусков стохастической модели (например, 200 запусков) частоты появлений критических путей приближаются к их вероятности, которые и являются количественной мерой рисков.

Шаг приращения времени в процессе стохастического моделирования принимается на основе автокорреляционного анализа посуточной добычи и проходки. Оказалось, что существует достоверная связь между темпами основных процессов горного производства, повторяющихся через 6-7 суток. В итоге шаг приращения времени в процессе стохастического моделирования принимали равным 7 суткам. В этом случае характер вариации темпов проходки и добычи является стабильным и не зависит от второстепенных факторов.

Таким образом программа развития подземных горных работ на угольной шахте описывается антисимметрическим ориентированным мультиграфом, веса дуг которого определяются стохастической моделью, имеющей нестационарную экспоненциально затухающую трендовую составляющую и вариационную компоненту, распределение которой согласуется с нормальным законом, а величина рисков невыполнения программы горных работ определяется стохастическим моделированием с шагом по времени равным 7 суткам.

Описание результатов стохастического моделирования

Стохастическое моделирование программы развития горных работ выполнялось для годовых

программ современных производительных угольных шахт Донбасса. Оценивались годовые программы за 2009, 2010 и 2011 годы. Ниже приводятся в качестве примера результаты моделирования рисков невыполнения годовых программ ш/у Покровское. Указанная угольная шахта обрабатывает запасы пласта d_4 в весьма сложных горно-геологических условиях, которые существенно повышают неопределенность планирования и увеличивают риск невыполнения годовой программы горных работ в целом.

Сетевая модель горных работ состоит из 70 узлов и 112 векторов, обозначающих отдельные этапы основных производственных процессов (подготовку или отработку запасов). В процессе моделирования подсчитывается количество реализаций критических путей, которые возникают по ходу моделирования. Чем сложнее граф работ и чем сильнее вариация темпов горных работ, тем разнообразнее сценарии, которые возникают при случайных комбинациях возможных значений темпов добычи и проходки.

Сценарий характеризуется критическим путем графа, который определяется в виде последовательности узлов. Кроме того, вычисляются самые ранние и самые поздние сроки начала и окончания каждой работы, а также ее длительность в каждом узле графа.

На основании полученных данных можно осуществлять детальный анализ всего проекта с учетом всех возможных нюансов в каждом узле или векторе. Ниже приведены результаты стохастического моделирования при исходных условиях и ограничениях, которые обсуждались выше.

В результате стохастического моделирования было выделено 20 возможных сценариев, при реализации которых критический путь проекта (программы развития горных работ на 2010) пролегает через следующие последовательности узлов графа (табл. 1). В конце каждой строки указана вероятность реализации данного сценария. Практический интерес представляют те сценарии, вероятность ко-

торых значительна. В данном анализе целесообразно проанализировать сценарии, вероятность которых превышает 10%.

Таблица 1
Список сценариев критического пути

Номер критического пути	Критический путь	Вероятность, %
1	-1-44-44-45-45-46-46-55	29
2	-1-44-44-48-48-49-49-55	17
3	-1-44-44-46-55	13
4	-1-35-35-36-36-37-37-55	8
5	-1-22-22-55	5
6	-1-27-27-28-28-29-29-55	4
7	-1-23-23-24-24-25-25-26-26-55	3
8	-1-44-44-45-44-48-45-46-46-55-48-49-49-55	3

Наиболее вероятные сценарии реализации критического пути связаны с подготовкой 1 южной лавы блока 10, которую будут выполнять конкретные бригады. С этими подготовительными работами связаны сценарии 1, 2, и 8. Суммарная вероятность указанных сценариев составляет 49%.

Первый вектор (вектор №75 с узла 1 в узел 44) в указанных цепочках представляет собой проведение 1 южного конвейерного штрека блока 10 до точки, с которой будет нарезаться монтажный ходок 1 южной лавы. Проверка по критерию Колмогорова-Смирнова показала, что гистограмма согласуется с нормальным законом распределения (рис. 4). Средняя длительность этой работы составляет $45,6 \pm 13,4$ недели, хотя планируется ее выполнить за 6 месяцев или 24 недели. Минимальная длительность выполнения указанной подготовительной работы может составить 16 недель с вероятностью не более 2%, а максимальная 75 недель с такой же вероятностью. Наиболее вероятно проведение указанного участка выработки в течение 35-60 недель, что видно на гистограмме сроков выполнения данной работы, приведенной на рис. 4.

Как следствие, высока вероятность невыполнения работ в срок по подготовке монтажного ходка 1 южной лавы блока 10. Эта работа входит в критические пути по сценариям 2, 8, 9, 15, 16 суммарная вероятность которых составляет 28%. При этом критическим является процесс подготовки ходка со стороны вентиляционного штрека.

Сопоставление прогноза с фактическим выполнением программы развития горных работ показало хорошее совпадение как по объектам рисков, так и по количественным задержкам выполнения программы развития горных работ. Расхождение средних прогнозных сроков и фактических не превысила 32%. В результате невыполнения годовой программы развития горных работ фактическая себестоимость угля увеличилась по сравнению с плановой на

5,6%, а потеря прибыли из-за нереализованной продукции составила 640 млн. гривен.

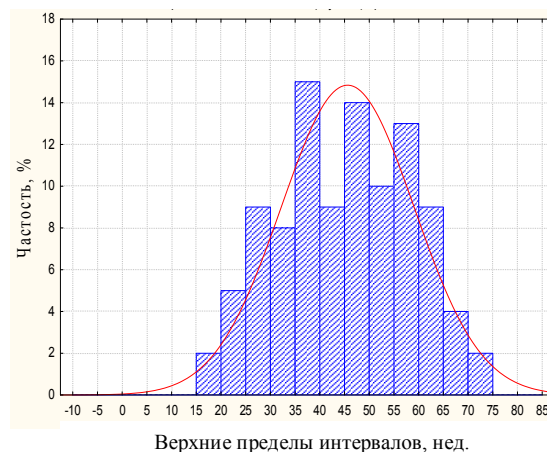


Рис. 4. Гистограмма сроков проведения 1 южного конвейерного штрека блока 10

Разработка алгоритма анализа программы развития горных работ на чувствительность

Общая схема анализа проекта на чувствительность к вариации исходных параметров модели состоит в следующем [13-15]. Для изучения чувствительности модели необходимо получить в количественном виде ее реакцию на вариацию определенного фактора при прочих исходных данных. Поставленная задача усложняется тем, что модель является стохастической и обеспечение прочих равных условий не является тривиальной задачей.

Прежде всего, необходимо определиться, какой параметр модели можно считать наиболее представительным с точки зрения количественной реакции модели на вариацию отдельного фактора. Опыт эксплуатации разработанной модели показал, что в качестве искомого параметра наиболее подходящим является время отклонения сроков реализации проекта от заданного в программе развития горных работ. Как показано выше, сроки окончания проекта или программы определяются путем выявления длительности критических путей.

С одной стороны при реализации программы развития горных работ крупной современной угольной шахты вероятность самого длинного критического пути не превышает 50% и не намного отличается от вероятности ближайших критических путей. С другой стороны при реализации большой программы развития горных работ может возникать несколько десятков критических путей. Очевидно, что наиболее полным параметром модели будет тот, который учитывает все критические пути.

В связи с этим в данной работе в качестве обобщенного параметра чувствительности программы развития горных работ угольной шахты предло-

жено использовать средневзвешенную величину отклонения времени реализации программы с учетом всех полученных ее критических путей.

$$S = \sum_{i=1}^N \Delta S_i p_i, \quad (3)$$

где N – число критических путей, S – чувствительность программы, ΔS_i – относительное отклонение сроков завершения проекта, p_i – вероятность i -того критического пути.

Заметим, что при досрочном завершении проекта или программы ΔS_i может оказаться отрицательным, что не противоречит физическому смыслу. Однако в условиях жесткого дефицита ресурсов и выполнения проекта на время (а не на конечный результат [16]) обобщенный параметр чувствительности проекта всегда будет иметь положительное значение.

Для выполнения испытаний проекта на чувствительность была разработана следующая процедура. Проверяется на чувствительность каждый параметр в отдельности. Наиболее важные результаты проверки программы на чувствительность получают при испытании реакции программы на вариацию величины входных факторов, которые определяют величину вариации темпов проходки и добычи, при изменении законов распределения вариации темпов горных работ, вариации вероятности отдельных векторов графа (отдельных работ в программе).

Например, при весьма благоприятных условиях очистные забои могут обеспечить уровень добычи, который соответствует нормативной нагрузке на очистной забой. Как правило, нормативный уровень ограничен по так называемому газовому фактору, когда даже при наличии резервов мощности и производительности у машин и механизмов нельзя добывать угля больше допустимого критического количества, когда концентрация выделяющегося взрывоопасного метана в подземной атмосфере превышает допустимый уровень.

Вообще наличие таких благоприятных условий достаточно редко встречаются не только на украинских, но и на зарубежных угольных шахтах, о чем свидетельствуют периодические катастрофы, сопровождающие взрывы газовоздушной среды с последующей гибелью десятков, а то и сотен людей. Однако при возникновении таких условий гистограммы добычи из очистных забоев меняют форму, становятся несимметричными и больше соответствуют логнормальному или экспоненциальному законам. При таком изменении одного из основных параметров стохастической модели результаты моделирования начинают существенно отличаться от тех, которые получены при симметричном (в частности нормальном) законе распределения.

Обеспечение прочих равных условий при испытании модели на чувствительность к одному из исследуемых факторов достигается увеличением числа испытаний. При этом задается несколько детерминированных уровней исследуемого фактора, а на каждом уровне модель испытывают определенное количество раз, которое обеспечивает получение устойчивой гистограммы чувствительности. Соответствие гистограммы определенному закону распределения определяют с помощью критерия Колмогорова-Смирнова.

Для обеспечения возможности изменения вариации темпов добычи и проходки на входе модели в зависимости от изменения исследуемого фактора, была осуществлена декомпозиция общих распределений темпов добычи и проходки, которые использовались при оценке риска программы.

При решении задачи декомпозиции возникла проблема мультиковариации отдельных факторов, в качестве которых были выбраны геологические нарушения, уровень техники безопасности, комплектация основных профессий, материально-техническое снабжение и уровень технической базы [5]. В связи с этим пришлось отказаться от методов математической статистики и использовать искусственные нейронные сети, которые были натренированы на экспериментальных наборах данных.

Искусственная нейронная сеть состояла из нейронов типа персептрона (рис. 5): шести входных (1 - геологические нарушения, 2 - уровень техники безопасности, 3 - комплектация основных профессий, 4 - материально-техническое снабжение, 5 - уровень технической базы и 6 - внешний фактор) во входном слое, четырех нейронов в промежуточном слое и двух нейронов на выходе (11 - вариация проходки, 12 - вариация добычи). В промежуточном слое согласно рекомендациям [17] взято среднее число нейронов между числом входных и выходных. Численные величины факторов выражались с помощью бальной шкалы и определялись путем экспертной оценки. Сеть тренировали на наборах фактических данных, полученных на основе опыта работы угольных шахт. Проверка робастности сети производилась на независимом наборе данных, который при тренировке сети не показывали. В результате на входе модели удалось разделить общую вариацию темпов нагрузки на составляющие, которые зависели только от каждого из факторов в отдельности.

На рис. 6 и 7 показаны результаты исследований стохастической модели программы развития горных работ угольной шахты на чувствительность к наиболее существенным входным факторам.

На рис. 6 видно, что нормированная вариация обобщенного параметра чувствительности макси-

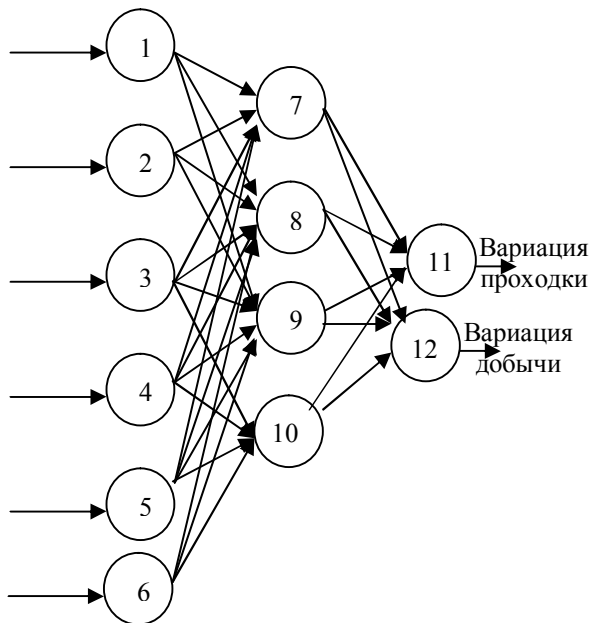


Рис. 5. Структура нейронной сети

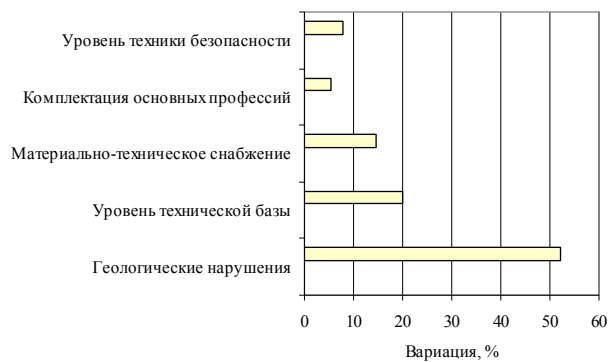


Рис. 6. Распределение вариации длительности критических путей для разных факторов

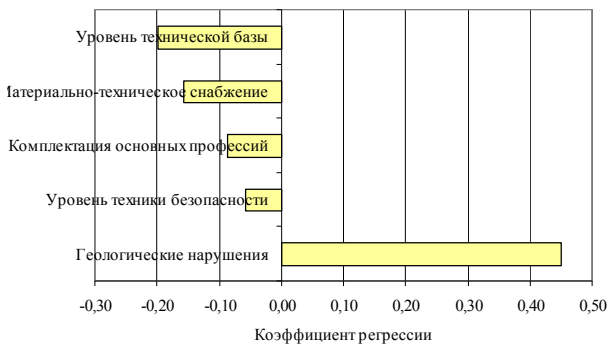


Рис. 7. Значение коэффициентов регрессии различных факторов на обобщенный показатель чувствительности программы развития горных работ

мальна для фактора «геологические нарушения», причем коэффициент регрессии этого фактора на величину обобщенного параметра чувствительности положителен и достигает 0,46 (рис. 7). Это свидетельствует о том, что фактор «малоамплитудные геологические нарушения» имеет особое влияние на

уровень рисков невыполнения программы развития горных работ угольной шахты.

На основании выполненных исследований авторами работы разработаны рекомендации по выполнению дополнительных проектно-изыскательских работ на инвестиционной фазе проекта для уточнения геологических условий отработки запасов. При этом показано, что дополнительные затраты на выполнения проектно-изыскательских работ в виде геофизической доразведки выемочных участков составляет всего 6-8% от потенциальных убытков, вызванных падением уровня добычи в очистных забоях при переходе зон малоамплитудной нарушенности.

Заклучение

Разработана и испытана стохастическая модель программы развития горных работ угольной шахты в виде антисимметрического ориентированного мультиграфа, веса дуг которого определяются стохастической моделью, имеющей нестационарную экспоненциально затухающую трендовую составляющую и вариационную компоненту, распределение которой согласуется с нормальным законом, а величина рисков невыполнения программы горных работ определяется стохастическим моделированием с шагом по времени равным 7 суткам.

С помощью разработанной имитационной модели осуществлена количественная оценка рисков невыполнения программы горных работ на угольной шахте и выделены критические пути, которые имеют максимальный риск.

Обоснован обобщенный параметр чувствительности программы развития горных работ к вариации входных факторов в виде средневзвешенной величины отклонений сроков критических путей сетевой модели от плановых. С помощью искусственной нейронной сети выполнена декомпозиция распределения вариации темпов подготовительных и очистных работ, позволяющая оценить долю участия каждого из входных факторов. Разработана методика стохастических испытаний имитационной модели на чувствительность. Установлено, что доля вариации обобщенного параметра чувствительности стохастической модели программы развития горных работ превышает 50%, а коэффициент регрессии фактора «малоамплитудная нарушенность» имеет положительный знак и достигает значения 0,46.

Литература

1. Ілюшко, В.М. Системное моделирование в управлении проектами [Текст]: монография / В.М. Ілюшко, М.А. Латкин.] / Х.: Нац. аэрокосм. ун] /т им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», 2010. – 220 с.
2. Локир, К. Управление проектами. Ступени высшего мастерства [Текст]/ К. Локир, Дж. Гордон.] / М.: Гревцов Паблшер, 2008. – 352 с.

3. Балдин, К.В. *Риск* /менеджмент [Текст] / К.В. Балдин, С.Н. Воробьев.] / М.: Гардарики, 2005, /288 с.
4. Шевченко, В.В. *Совершенствование системы комплексного управления добычей и сбытом угля в Украине* [Текст]: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.06.01 / Шевченко Владимир Владимирович; ИЕП НАНУ. – Донецьк, 1995. – 23 с.
5. Кочура, І.В. *Оцінка та прогнозування впливу господарських ризиків на операційну діяльність вугільних шахт* [Текст]: автореф. дис. ... канд. экон. наук. 08.06.01 / Кочура Ілона Володимирівна; ИЕП НАНУ. – Донецьк, 2007. – 18 с.
6. Пискунова, Н.В. *Системный подход к решению проблем шахт Украины* [Текст] /Н.В. Пискунова // Уголь Украины. – 2002. – №5. – С. 13 – 16.
7. Терентьев, Б.Д. *Повышение надежности и безопасности отработки запасов выемочных участков угольных шахт*: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.02 / Терентьев Борис Дмитриевич; МГГУ.] / М., 2006. – 32 с.
8. Булдакова, Е.Г. *Методика прогноза и управления риском производственного травматизма на угольных шахтах Воркуты*: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Булдакова Елена Геннадьевна; СПбГГУ. – СПб., 2008. – 22 с.
9. Латкин, М.А. *Системное представление системы управления проектными рисками предприятия* [Текст] / М.А. Латкин // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 2(43) – С. 141–145.
10. Библиотека алгоритмов 16] /50б. (Справочное пособие) [Текст] /М.И. Агеев, В.П. Алик, Р.М. Галис, Ю.И. Марков.] / М.: Сов. радио, 1975. – 176 с.
11. Kelly, J.E. *Critical path planning and scheduling* [Text] / J.I. Kelly // *Proc. Eastern Joint Computer Conference*.] / Michigan, 1969.] / P. 121 – 123.
12. Fishberg, M.C. *Least cost estimating and scheduling* [Text] / M.C. Fishberg // *IBM 650 Program Library*. File #10.3.005.
13. Anderson, S.D. *Project quality and project managers* [Text] / S.D. Anderson // *International Journal of Project Management*. – 2002. – № 10(3). – P. 138 – 144.
14. Benner, M.J. *Exploitation, exploration, and process management: the productivity dilemma revisited*, [Text] /M.J. Benner, V.L. Tushma // *Academy of Management Review*. – 2003. – № 28 (2). – P. 238 – 256.
15. *Project management systems*] / *Sensitivity analysis* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.projectmanagementbasics.com/project_management_176_Project_management_systems_part_13_Sensitivity_analysis.shtml. – 24.12.2012 г.
16. Khang, D.B. *Time, cost and quality trade] /off in project management: a case study* [Text] / D.B. Khang, Y.M. Myin // *International Journal of Project Management*. – 1999. – № 17(4). – P. 249 – 256.
17. Kasabov, N.K. *Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems and Knowledge Engineering* [Text] /N.K. Kasabov. – Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1996. – 570 p.

Поступила в редакцію 24.12.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. маркетинга В.С. Маевский, Донецкий государственный университет управления, Донецк

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ПРОГРАМИ РОЗВИТКУ ГІРНИЧИХ РОБІТ ТА ЇЇ РИЗИКІВ В УМОВАХ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Л.М. Захарова, В.В. Назимко

Для аналізу чутливості програми розвитку гірничих робіт на вугільній шахті розроблена стохастична модель, яка базується на орієнтованому мультиграфі, ваги якого обчислюються за допомогою процедури сэмплінга. Варіація випадкових значень темпів основних процесів видобутку вугілля обчислювалася за допомогою спеціально натренованої штучної нейронної мережі. Встановлено параметри випадкових функцій темпів підготовки і видобутку вугілля, а також доведена максимальна чутливість проекту підземного вуглевидобутку до чинника малоамплітудної порушеності.

Ключові слова: стохастичне моделювання, управління проектами та програмами, ризики, чутливість проекту, нейронні мережі.

SENSITIVITY INVESTIGATION OF DEVELOPMENT PROGRAM AND MINING RISK AT A COAL MINE

L.N. Zacharova, V.V. Nazimko

A stochastic model has been developed to investigate sensitivity of a coal mining program. This model uses the mathematical graph having vector weights that were calculated by sampling procedure. Artificial neural network have been trained to determine stochastic variation of entry driving and longwall advance rates. Parameters of stochastic functions have been found for coal extraction technology. Coal extraction project demonstrates maximum sensitivity to fault destruction of the coal seams.

Key words: Stochastic simulation, project management, risk, sensitivity, neural network.

Захарова Людмила Николаевна – аспірантка кафедри інноваційного менеджмента и управління проектами Донецького державного університету управління, г. Донецьк.

Назимко Виктор Викторович – д-р техн. наук, проф. кафедри маркшейдерського дела Донецького національного технічного університету, г. Донецьк, e-mail: nvv1952@yandex.ru.