

УДК 622.831: 658.382

А.С.Кузнецов, О.Б.Кортелев

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО РИСКА

Разработка твердых полезных ископаемых со- пряжена с извлечением из земных недр значительных объемов горной массы и большим расходом энергии – электрической, механической и энергии взрыва. Со временем, с увеличением глубины работ и объемов выработанного пространства меняется структура породного массива. Техногенные воздействия на массив горных пород и процессы, происходящие в нем, приводят к изменению свойств геомеханической среды. Эти свойства и степень их изученности существенно влияют на технологию, предельно эффективную глубину разработки полезных ископаемых, производственную мощность и устойчивость предприятия. Рассматриваемые процессы инициируются и направляются человеком, поэтому любое событие или состояние объекта является следствием или результатом действия не только природных факторов, но и принятых решений и выполняемых на их основе операций.

Горнодобывающее производство представляет собой специальным образом организованный процесс взаимодействия элементов природно-антропогенного образования (или процесс его жизнедеятельности), направленный на получение продукции, с помощью которой удовлетворяются потребности общества. Каждый элемент, выполняя свои функции, обслуживает другие работы и тем самым поддерживает движение средств, исходных продуктов и выход продукции. В самом общем виде деятельность любого предприятия сводится к преобразованию одних видов ресурсов в другие [1]. В связи с многообразием факторов, влияющих на эти процессы, и принципиальной невозможностью в любой момент времени получать точные сведения об интересующих нас объектах (а тем более во всех деталях предвидеть будущее), процесс добычи полезного ископаемого следует считать частично неопределенным. Все более полный учет природной или вероятностной составляющей горного производства – основной путь повышения его надежности и безопасности, требующий принятия решений в условиях рисков.

Эффективность – комплексная характеристика процесса и его организации, полная совокупность оценок, отражающих качество выполнения объектом определенных функций в данных условиях (качество процесса). Главная задача организации производства – поиск и выбор оптимальных путей достижения намечаемых целей. Это подразумевает наличие возможностей и альтернативных способов воздействия на управляемые и зависимые параметры процесса; достаточную изученность и

понимание природы, факторов, влияющих на процесс и его развитие; знание границ допустимой области и меры необходимого и достаточного воздействия на объект для обеспечения или поддержания его устойчивости, получения требуемой динамики показателей эффективности. Организацию и управление производством объединяет определение реалистичных целей, принятие и реализация решений, обеспечивающих их достижение; последовательное целенаправленное воздействие на процесс или состояние и поведение объекта; организация информационных потоков и поддержание их циркуляции между элементами системы. Любое управляющее воздействие – результат выбора и принятия решения, тогда как решение – упорядоченные знания, результат анализа и преобразования информации [2-4].

Параметрами порядка или управляющими параметрами называют природные и организационные факторы, играющие ведущую роль в формировании характера процесса и обусловливающие то или иное развитие ситуации, т.е. динамику зависимых переменных. Значения управляемых параметров определяются человеком в результате принятия решения. Когда эти значения зафиксированы, они становятся параметрами порядка [5]. Технология – производственный способ или процесс, образуемый совокупностью взаимосвязанных операций и используемых средств производства. Это динамический ряд параметров порядка, указывающий характеристики, размещение элементов и движение потоков, создаваемых и поддерживаемых этими элементами. В текущий момент времени – это ряд параметров (объединяющий порядок размещения и порядок движения), определенный в ограниченном диапазоне условий применения (ближайший период) и частично или ориентировано определенный для более поздних периодов времени.

В качестве примера приведем описание ситуации, характерной для горнодобывающего производства. Пусть добыча полезного ископаемого ведется в n забоях. Работа каждого из них связана с возрастающим уровнем опасности $u_j(t)$, причем процесс $u_j(t)$ в некоторой мере случайный. При достижении k -м забоем своего критического уровня опасности u_k^{kp} , работа в нем останавливается и его объем выпуска перераспределяется между другими добычными комплексами в виде добавок $\Delta Q_j(t)$ к их текущей производительности $Q_j(t)$. При этом должны выполняться условия:

$$\begin{aligned} Q_j(t) + \Delta Q_j(t) &\leq Q_j^{\max}(t), \\ r_j(t, Q_j(t) + \Delta Q_j(t)) &\geq r_j^{\min}, \quad j \neq k, \end{aligned}$$

где Q_j^{\max} – текущая максимальная производительность j -го комплекса, $r_j(t, Q)$ – текущий рабочий ресурс или резерв времени работы заботы с производительностью Q . Если после остановки уровень опасности снижается, то через какое-то время работа возобновляется. Требуется так организовать работу забоев, чтобы процесс разработки полезного ископаемого был устойчиво эффективным. Необходимо учитывать, что пропуск момента, когда уровень опасности становится критическим, чреват для предприятия существенными потерями.

На начальном этапе к управляющим относятся параметры, отражающие характер и поведение геомеханической среды в зависимости от нагрузок, спрос и цены на продукцию, типоразмеры и стоимость выпускаемого оборудования, нормативы по условиям безопасности, кредитные ставки и т.д. К управляемым – количество забоев, типоразмеры используемого оборудования, интенсивность и сроки отработки запасов полезного ископаемого (нормальная нагрузка на забой), порядок проведения технологических перерывов, профилактического обслуживания и предупредительного ремонта оборудования, емкость склада готовой продукции, намечаемая производительность и производственная мощность предприятия в зависимости от длительности непрерывной работы в “напряженном” режиме. При фиксированном (рассматриваемом, анализируемом или намеченном) варианте приобретения, размещения и загрузки оборудования ряд параметров порядка расширяется. Зависимыми будут фактические объемы производства, себестоимость и характеристики потока продукции, прибыль и т.д.

Обычно, устойчивость означает способность объекта сохранять требуемые функциональные качества в условиях случайных нагрузок. Соответственно, объект должен обладать достаточной прочностью, чтобы выдерживать любое вероятностно значимое состояние или поведение среды, и в каких-то случаях упругостью, т.е. способностью восстанавливать рабочий ресурс. Если объектом исследований является технологический процесс, то к указанным свойствам добавляется маневренность, что связано с инерционностью, необходимостью некоторого времени для принятия решения, его реализации и корректировки (перестройки) производственного процесса. Данное свойство характеризует возможность своевременной перестройки в соответствии с ожидаемым изменением ситуации. Готовность к правильной перестройке за время τ (когда τ – случайная величина) отражает показатель или коэффициент маневренности μ . В горном деле устойчивость означает способность объекта сохранять определенные свойства или качества в условиях технозависимой среды и тех-

ногенного риска. Обслуживание случайного процесса требует наличия достаточных резервов прочности (упругости), а также структурных, мощностных и временных резервов. С их помощью обеспечивается необходимая гибкость производства и устойчивость его экономических показателей.

Риск – это оценка возможности (для краткости, просто возможность) потерь, ущерба в случае неблагоприятного развития ситуации или исхода операции из-за частичной неопределенности информации, знаний и нехватки каких-то ресурсов или качеств, например, управляемости, маневренности, прочности и соответствующих резервов. Эти же ресурсы и качества можно рассматривать как способы и средства предотвращения опасной ситуации или защиты от опасности [6,7]. Техногенный риск определяется как возможность выхода параметров технологии за границу нормальной области и связанных с этим потерь. В стоимостном выражении он представляет собой разность в результатах, которые были бы получены при удачном и неудачном исходах операции (при благоприятном и неблагоприятном стечении обстоятельств).

Риск становится неприемлемым, если какой-то параметр среды или технологии оказывается в критической области. Все источники таких событий (опасностей) разделим на три группы: природные (независящие от человека), антропогенные и смешанного происхождения. Значительную часть двух последних групп можно объединить. Это ошибки в расчетах, оценках и принимаемых решениях, т.е. всевозможные ошибки, включая позднее реагирование, задержки принятия решений, несогласованность целей и осуществляемых действий. Они порождают события или отказы, вызывающие потери и дополнительные расходы.

Ошибка считается *нормальной*, если соответствующие расходы допустимы и существует резервный или страховой фонд, с помощью которого за приемлемое время компенсируются потери и восстанавливается работоспособность элементов (системы). В противном случае ошибка будет критической. Внезапными считаются события, при которых нет достаточного резерва времени для перестройки (с целью предотвращения аварии) и потери недопустимы.

Одно из необходимых условий устойчивости объекта, процесса заключается в том, чтобы ни одно событие не оказалось внезапным и ни одна ошибка не стала критической. Указанные события, ошибки и риск связаны с неопределенностью условий, в которых принимаются решения. Уровень ошибок влияет на устойчивость объекта и показывает необходимость его защиты. Каждое сочетание способа и степени защиты влечет соответствующие расходы. Понятие эффективности связывает устойчивость с затратами на ее обеспечение.

Решение считается допустимым, если динамика каждой зависимой переменной оказывается допустимой на всем рассматриваемом интервале времени T , включающем период последействия. Допустимое решение обладает следующим свойством – оно совместимо со всеми элементами системы и участниками процесса в том смысле, что серьезных противоречий между ними не возникает (все вероятностно значимые экстремальные события постоянно удалены на достаточное расстояние от текущего момента времени), т.е. движение (работа, технологический процесс) осуществляется при запланированных расходах ресурсов с приемлемым риском. При этом частота и распределение возникающих отказов и сбоев оказываются допустимыми и связанные с ними потери согласованы (нормальные ошибки).

Обозначим X – множество допустимых решений многокритериальной задачи, соответствующей рассматриваемой ситуации. Предполагается, что множество критериев включает в себя показатель (оценку) перспективности решений в смысле наличия ресурсов, возможностей для перестройки производства в перспективе. Пусть x'' и x' – два произвольных решения из X , $M_1 = \{i | f_i(x) \rightarrow \max\}$, $M_2 = \{i | f_i(x) \rightarrow \min\}$, $f_i(x)$ – целевые функции задачи, $i \in M_1 \cup M_2$ (M_1 – множество критериев, которые максимизируются, M_2 – минимизируются). Если значения $f_i(x)$ определяются с погрешностью $\varepsilon > 0$, то x'' не хуже x' , если

$$f_i(x'') \geq f_i(x') - 2\varepsilon, \quad i \in M_1,$$

$$f_i(x'') \leq f_i(x') + 2\varepsilon, \quad i \in M_2$$

Введем новые обозначения критериев: $f_k(x)$, $p_k(x)$, $c(x)$, $q(x)$, где $f_k(x)$ – натуральный или экономический показатель качества решения x ; $p_k(x)$ – оценка надежности $f_k(x)$ (или x по отношению к f_k); $c(x)$ – оценка возможных потерь, дополнительных расходов, связанных с x , цена риска; $q(x)$ – оценка возможности этих потерь – вероятностная составляющая риска. Решение $x \in X$ неулучшаемое, если не существует другого $x' \in X$, которое по всем показателям не хуже x и минимум по одному из них предпочтительнее x , т.е. для некоторого номера k из M_1 или M_2 (M_1 и M_2 – новые) выполняется по меньшей мере одно из условий:

$$f_k(x') \geq f_k(x) + \varepsilon_{fk}, \text{ если } k \in M_1;$$

$$f_k(x') \leq f_k(x) - \varepsilon_{fk}, \text{ если } k \in M_2;$$

$$p_k(x') \geq p_k(x) + \varepsilon_{pk}; \quad c(x') \leq c(x) - \varepsilon_c;$$

$$q(x') \leq q(x) - \varepsilon_q,$$

где ε_{fk} , ε_{pk} , ε_c , ε_q – заданные приращения или сокращения соответствующих критериев. Такое решение невозможно улучшить без риска снижения эффективности по крайней мере по одному из показателей (имеется в виду недопустимый, не-приемлемый риск). Неулучшаемые решения обра-

зуют эффективную область [8]. Каждое из них имеет свой оптимальный период (пока решение остается эффективным). В течение этого периода любое неулучшаемое решение является устойчивым и любое из этих направлений движения считается нормальным. Отметим, что недопустимое решение, в отличие от допустимого, всегда чревато существенными отрицательными последствиями и представляет собой опасность.

В каждый момент времени параметры индивидуальной технологии (включая нагрузки на оборудование, конструктивные элементы и их рабочий ресурс, резерв устойчивости) имеют ограниченную нормальную область. Она постоянно деформируется, так что в одной ситуации определенное значение параметра может быть допустимым, в другой это же значение оказывается критическим или экстремальным.

Динамика показателей эффективности отражает защищенность объекта от ошибок, своеобразность изменений параметров технологического процесса и степень согласованности действий элементов системы. Технологический процесс становится опасным, если не удается вовремя, пока позволяет маневренный ресурс, проанализировать ситуацию и выявить ближайшие и более отдаленные опасные события, требующие принятия оперативных, текущих и перспективных решений. Маневренность обеспечивается различными резервами (включая резервы времени для перестройки) и возможностью своевременно распознавать опасность. Недостаточность знаний о каком-то объекте, явлении или процессе не позволяет получить достаточно четкую общую картину и сдерживает принятие решений, что обуславливает запаздывание управляющих воздействий.

Предположим, что каждому решению $x \in X$ соответствуют следующие величины: p_1 – вероятность того, что будет получен планируемый (намечаемый) объем выпуска; p_2 – вероятность того, что качество продукции будет удовлетворять предъявляемым требованиям; p_3 – вероятность того, что запланированные расходы (включая страхование производства и затраты, связанные с нормальными ошибками) не будут превышены, т.е. фактическая себестоимость не окажется больше расчетной; p_4 – вероятность того, что рыночная цена продукции будет не ниже отпускной, закладываемой в расчетные формулы; $p_2 p_4$ – вероятность того, что отпускная цена не окажется ниже расчетной; $p_5 = \prod p_i$ – вероятность того, что будет получена расчетная прибыль. Все эти вероятности определяются при условии, что не произойдет ни одного экстремального события, $q = 1 - p_3$ – вероятность того, что такое событие произойдет. Эта величина характеризует уровень опасности производства по вероятности, например, мощных динамичных проявлений геомеханической среды.

Пусть теперь p_1 – вероятность своевременного получения необходимой, достаточно надежной информации с учетом времени, требуемого для оценки, анализа ситуации, согласования и принятия решения; $p_2(\tau)$ – вероятность того, что для перестройки и предотвращения экстремального события есть τ единиц времени; $p_3(\tau)$ – вероятность того, что перестройка будет выполнена (закончена) за время τ ; p_4 – вероятность того, что перестройка осуществляется в правильном направлении (вероятность выбора эффективного управляющего воздействия x); p_5 – вероятность достаточности структурных и мощностных резервов – возможностей для регулирования производственного процесса; $p = \prod p_i$ – вероятность успешной перестройки и предотвращения аварии. Тогда $\mu = p$, а $q = 1 - p$ – вероятностная составляющая техногенного риска.

Отметим один момент в организации информационного обеспечения процесса управления развитием горных работ. Известно, что значительная часть серьезных аварий обусловлена взрывными работами и увеличением объема выработанного пространства. Слабое связующее звено или слабый элемент и дополнительное воздействие,

превышающее их резерв прочности или устойчивости, становятся причиной нарушения целостности, связности и разрушения объекта, т.е. непосредственной причиной аварии. Для определения границы нормальной области и оценки качества того или иного решения – эффективное, опасное, деструктивное – необходимо знать зависимость динамики рабочего ресурса элементов (объектов) от природных и техногенных факторов. Требуемые характеристики среды и конструктивных элементов могут быть получены лишь в результате исследования динамики взаимосвязанных факторов – выполняемых операций и состояний элементов системы. Это одна из основных составляющих организации производства, т.к. устойчивость технологии, принимаемых решений, планов достигается тогда, когда происходит накопление опыта и имеется необходимое информационное обеспечение процесса управления, своевременное уточнение или обновление индивидуальных задач, зависимостей, закономерностей, чтобы с приемлемым качеством оценивать текущее состояние, перспективы, динамику уровня опасности производства и определять границы эффективной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. Проектирование карьеров. – М.: Изд. АГН, 2001. – Т.1. – 519 с.
2. Михалевич В.С., Трубин В.А., Шор Н.З. Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования. Модели, методы, алгоритмы. – М.: Наука, 1986. – 264 с.
3. Петрович С.И. Математические модели в оперативном планировании развития горных работ на шахтах. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1986. – 272 с.
4. Кузнецов А.С. Моделирование и анализ производственных ситуаций (с примерами приложений в горном деле). – Новосибирск: Наука, 1996. – 132 с.
5. Кузнецов А.С. К вопросу о порядке разработки полезных ископаемых // Вестн. КузГТУ, 2003. – № 2. – С.24-26.
6. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. – М.: Наука, 2000. – 431 с. – (Серия "Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения").
7. Кузнецов А.С. К проблеме экстремальных проявлений горного давления с позиции управления резервами и риском. // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2003. – № 1. – С. 71-73.
8. Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. – М.: Наука, 1986. – 296 с. – (Серия "Теория и методы системного анализа").

□Авторы статьи:

Кузнецов Александр Сергеевич - докт.техн.наук, вед.науч.сотр. ИГД СО РАН	Кортелев Олег Борисович - докт.техн.наук, гл.науч.сотр. ИГД СО РАН
---	---