

УДК 622.831

DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-3-12-21

ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПОЭТАПНОГО РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ УГЛЕДОБЫЧИ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ШАХТАХ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

SUBSTANTIATION OF THE DIRECTIONS OF THE PHASED DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES OF UNDERGROUND COAL MINING AT ACTIVE UNDERGROUND MINES IN MODERN SUBSURFACE RESOURCES MANAGEMENT



*V. Ю. Кулак,
ЗАО «Промуглепроект»,
г. Новокузнецк
Vitaly.Kulak@tvraz.com*

*V. Kulak,
ZAO Promugleproyekt,
Novokuznetsk*



*T. В. Петрова,
Сибирский государственный
индустриальный университет,
г. Новокузнецк
ptrvt@mail.ru*

*T. Petrova,
Siberian State Industrial
University, Novokuznetsk*

Предложено угольную шахту идентифицировать как сложную неоднородную слабоструктурированную производственную систему, устойчивость функционирования которой сохраняется при поэтапном техническом перевооружении с использованием новых элементов технологии, обоснованных по результатам моделирования когнитивных карт. Предлагается реализация адаптивных к новым условиям недропользования и требованиям угольного рынка элементов подземной геотехнологии посредством поэтапного технического перевооружения технологических элементов с целью достижения максимальной рентабельности производства. Выбор инновационных технологических решений проводится по алгоритму сценарного развития сложных систем, включающего системный анализ результатов деятельности действующей шахты, оценку размера инвестиций, величины и качества запасов угля в недрах, а также динамики угольного рынка. При выборе адаптивных к реальным условиям сценариев развития угольной шахты учтены следующие факторы: пространственная изменчивость горно-геологических и горнотехнических свойств; вероятные отклонения режимов выполнения технологических процессов и операций от проектных или регламентированных действующими нормативными документами; воздействие непрогнозируемых внешних и внутренних факторов; «человеческий фактор» в случаях нерегламентированного поведения персонала. Угольная шахта рассмотрена как слабо структурированная сложная система, так как в ней сочетаются количественные параметры и качественные характеристики. Причем малоизвестные и неопределенные показатели имеют тенденцию доминировать, то есть преобладают качественные, плохо формализованные факторы. Управляющие решения принимаются субъективно лицом, принимающим решения, посредством выбора рационального решения из предлагаемых альтернативных сценариев или на основе накопленного производственного опыта. Обоснована возможность применения для исследования такой слабоструктурированной системы когнитивного моделирования, разработаны алгоритм реализации сценарного подхода и компьютерная программа, тестирование которой проведено по реальным данным одной из шахт Кузбасса

Ключевые слова: шахта; технология угледобычи; техническое перевооружение; производственная система; моделирование; сценарный подход; управление сложными системами; когнитивный подход; подземная угледобыча; концептуальная модель

It is proposed to identify a coal mine as a complex heterogeneous substructuring production system, the sustainability of which remains in a phased modernization using new technology elements based on the results of the cognitive maps modeling. The implementation adaptive to new conditions and requirements of the coal market

of elements of underground geotechnology through phased technical upgrading of the technological elements in order to achieve maximum profitability is proposed. The choice of innovative technological solutions is carried out according to the algorithm of a scenario of complex systems, including system analysis of the results of operations of the existing mines, assessment of the investment size, the size and quality of coal resources reserves, and dynamics of the coal market. When selecting an adaptive to the actual conditions scenario of a coal mine, the following factors are taken into account: spatial variability of geological and mining properties; probable deviations of technological processes modes and operations from the project or regulated by the applicable regulations; impact of unpredictable external and internal factors; “human factor” in cases of staff’s unregulated behavior. A coal mine is considered as weakly structured complex system, as it combines quantitative parameters and qualitative characteristics. The little-known and uncertain indicators tend to prevail, that is dominated by quality, poorly formalized factors. Control decisions are made subjectively by the decision maker, through the choice of a rational solution of the proposed alternative scenarios or based on the accumulated production experience. The possibility of application to study of such substructuring system of cognitive modeling is justified. The algorithm of scenario approach realization and a computer program testing are carried out by real data obtained at one of the Kuzbass mines

Key words: mine; technology of coal production; technical re-equipment; production system; modeling; scenario approach; control of complex systems; cognitive approach; underground coal mining; conceptual model

Введение. Современное состояние подземной технологии разработки угольных месторождений обусловлено экономической ситуацией в ресурсодобывающих отраслях Российской Федерации. Производство угольных шахт испытывает жесткую конкуренцию со стороны предприятий нефтяной и газовой промышленности, а также угольных разрезов [13; 14]. Негативные тенденции сокращения объемов добычи угля подземным способом проявляются как в России, так и за рубежом [2; 5; 9; 10 и др.].

Внешними факторами, влияющими на конкурентоспособность угольной продукции, являются неудовлетворительная ценовая конъюнктура, ориентирование электроэнергетики на дешевый природный газ, падение потребности угля в жилищно-коммунальном хозяйстве в связи с расширением газификации регионов, отсутствие роста потребления угля в металлургии, необходимость обеспечения экологической безопасности. Внутренние отраслевые факторы снижения эффективности технологии подземной угледобычи проявляют себя сложными горно-геологическими условиями: высокая газоносность геомассива, склонность угольных пластов к газодинамическим явлениям и самовозгоранию; истощение разведанных запасов полезных ископаемых, благоприятных для отработки угольных с использованием

высокопроизводительного горношахтного оборудования; относительно высокий уровень травматизма персонала.

Одним из направлений улучшения ситуации в угольной отрасли является развитие технологии подземной угледобычи на действующих шахтах. Выбор традиционных и создание новых элементов геотехнологии предлагается осуществлять на основе системного анализа результатов деятельности предприятия, оценки величины инвестиций и запасов угля в недрах с использованием экономических и социальных критериев. Реализация адаптивных к новым условиям недропользования и требованиям угольного рынка элементов геотехнологии обеспечивается посредством поэтапного технического перевооружения технологических элементов с целью достижения максимальной рентабельности производства в целом.

Цель исследований – обоснование направлений развития технологии подземной угледобычи на действующих шахтах посредством обоснования по результатам когнитивного моделирования сценариев поэтапного технического перевооружения горнотехнической системы шахты с компенсацией негативного влияния внешних и внутренних факторов.

Новизна состоит в развитии методического подхода рационального освоения

запасов шахтного поля посредством выбора по результатам когнитивного моделирования оптимального сценария поэтапного технического перевооружения действующей угольной шахты как слабоструктурированной горнотехнической системы.

Методы исследования: комплексный анализ и ранжирование альтернативных вариантов сложных систем, когнитивное импульсное моделирование, сценарный методический подход.

В соответствии с теорией сложных систем угольную шахту можно рассматривать как сложную слабо структурированную систему с неоднородными элементами [4; 6]. Неоднородность производственной системы шахты (далее – ПСШ) следует из разных функций отдельных подсистем и пространственно-временного расположения элементов инфраструктуры в пределах шахтного поля и технологического комплекса на земной поверхности.

Так как элементы и подсистемы ПСШ между собой тесно связаны функционально, то изменение режимов работы одного или нескольких элементов приводит к изменению работы всей ПСШ. Таким образом, ПСШ предлагается рассматривать как неустойчивую слабоструктурированную систему. Неустойчивость и слабая структурированность ПСШ следует также из необходимости обеспечения поточности технологических процессов добычи, транспорта, подъема и отгрузки угля потребителю при ограничениях по экологической и промышленной безопасности и высокой вероятности возникновения нештатной ситуации.

Неопределенность технологии подземной угледобычи следует из совокупного влияния следующих факторов:

1) пространственная изменчивость горно-геологических и горнотехнических свойств и параметров горного массива, в том числе не выявленных в процессе геологической разведки и на стадии проектирования;

2) отклонения режимов выполнения технологических процессов и операций от проектных, паспортных или регламентированных действующими нормативными документами;

3) воздействие непрогнозируемых внешних и внутренних факторов, таких как турбулентность угольного рынка, ограниченность природных и энергетических ресурсов, инциденты и аварии;

4) «человеческий фактор», влияние которого проявляется в результате неправильных действий работников при выполнении технологических процессов и операций, использовании технических средств, реализации некомпетентных управляющих воздействий и других случаях аномального поведения персонала. Влияние «человеческого фактора» неоднократно указывается, например, в протоколах расследования многих аварий на угольных шахтах [11].

Структура и функции ПСШ обосновываются в проектах строительства шахт. Однако в процессе строительства (иногда до окончания строительства) и эксплуатации шахты возникает необходимость ее технического перевооружения с целью совершенствования отдельных элементов геотехнологии. Соответственно, нарушается синхронное взаимодействие элементов в технологической системе шахты по техническим характеристикам, производительности, пространственно-временному расположению объектов инфраструктуры.

В общем случае развитие шахты возможно по следующим сценариям:

1) мощность шахты в проекте технического перевооружения больше мощности, принятой в проекте строительства предприятия.

После технического перевооружения отдельных элементов ПСШ неустойчивость работы предприятия возникает за счет интенсификации режимов работы структурных подразделений и повышенного износа оборудования, установленного еще при строительстве шахты, недостаточного уровня адаптации новых элементов ПСШ к элементам и подсистемам, созданным при строительстве шахты и, наоборот, – старых к новым. Работа такого предприятия характеризуется повышенным риском возникновения аварий и инцидентов;

2) мощность шахты в проекте технического перевооружения меньше мощности в проекте строительства предприятия.

В этом случае работа шахты будет устойчивой, но экономические показатели будут ниже показателей шахт-аналогов, так как необходимо консервировать или поддерживать элементы инфраструктуры, не используемые после технического перевооружения. Вследствие снижения проектной мощности шахты повышается доля постоянных затрат в структуре себестоимости при поддержании в эксплуатационном или законсервированном состоянии избыточных мощностей водоотлива, вентиляции, дегазации, противопожарной защиты, транспорта и подъема, поверхностного технологического комплекса.

С учетом изложенных признаков возникновения производственных и экономических рисков неустойчивой работы ПСШ она идентифицируется как слабоструктурированная сложная система.

Под слабоструктурированной сложной системой следует понимать такую систему, в которой сочетаются количественные параметры и качественные характеристики. Причем малоизвестные и неопределенные показатели имеют тенденцию доминировать, то есть преобладают качественные, плохо формализованные факторы. Управляющие решения принимаются субъективно лицом, принимающим решения, посредством выбора рационального решения из предлагаемых альтернативных сценариев или на основе накопленного производственного опыта.

Формализованное описание сложных слабо структурированных систем принято осуществлять с помощью концептуальных моделей. Концептуальные модели должны удовлетворительно интерпретировать закономерности многовариантной изменчивости сложных систем. Реальная сложность систем в концептуальных моделях упрощается. Сложные слабоструктурированные системы, моделируемые в рамках концептуального подхода, должны быть непосредственно наблюдаемыми или логически следовать из эмпирических данных и обобщений [8; 11].

Для выбора элементов технологии, адаптивных к внутренним и внешним условиям функционирования шахты, можно применить математическое, численное, имитационное, когнитивное моделирование [6; 7; 8].

В качестве цели моделирования развития или эффективности работы проектируемого предприятия может быть принят любой показатель, указанный в техническом задании на разработку проектной документации или при планировании горных работ. Рекомендуются принимать следующие целевые индикаторы: проектную мощность шахты, среднесуточную нагрузку на очистной забой, коэффициент извлечения полезного ископаемого, уровень промышленной и экологической безопасности, производительность трудящихся (рабочих), сметную стоимость технического перевооружения, объемы финансирования, себестоимость продукции, прибыль или рентабельность производства, срок окупаемости инвестиций, дисконтированный чистый доход и др. Возможно группирование целевых показателей, например, минимальная себестоимость продукции при минимальном риске возникновения аварий, максимальная проектная мощность шахты при минимальном сроке ее освоения и др.

Во всех методах моделирование осуществляется с учетом трех основных принципов:

1) системного подхода к решению задач анализа и синтеза сценариев развития предприятия;

2) анализа и синтеза технологической системы шахты (далее – ТСШ) с учетом вертикальных и горизонтальных связей процессов технологии угледобычи в организационной структуре;

3) множественности моделей: частные модели для отдельных процессов (например, противопожарной защиты, вентиляции, дегазации, транспорта) и обобщенные модели для всей ТСШ или основных ее элементов (имитационная модель для расчета проектной мощности шахты с учетом производительности всех элементов в технологической цепи и ограничений).

В последние десятилетия интенсивно развивается метод когнитивного моделирования, методология которого при проектировании горных объектов не доведена до практического применения. Метод когнитивного моделирования базируется на научных положениях и положительных результатах применения методических основ, разработанных Г. В. Гореловой, В. В. Кульбой, В. И. Максимовым, Ф. С. Робертсом и др. [1; 7; 12].

Сущность когнитивного подхода при диагностике и оценке состояния сложного слабоструктурированного объекта состоит в построении и анализе когнитивных карт, отражающих взаимосвязи количественных и качественных факторов и обеспечивающих с помощью семейства формальных моделей моделирование динамики слабоформализуемых систем. Для учета причинно-следственных связей и взаимовлияния факторов применяется математический аппарат знаковых и взвешенных графов.

Методология когнитивного моделирования процесса выбора и адаптации к реальным условиям действующей шахты новых элементов ПСШ включает следующие основные этапы (рис. 1):

– *сбор и систематизация исходной информации.* На этом этапе проводится сбор и систематизация исходной горно-геологической, горнотехнической и экономической информации, обобщается опыт применения технологии на отечественных и зарубежных шахтах-аналогах при освоении подобных месторождений. Осуществляется анализ конъюнктуры угольного рынка, всех видов ресурсов.

Определяются целевые параметры горнодобывающего предприятия с учетом ограничений и требований, регламентированных лицензионным соглашением на разработку недр в пределах горного отвода и действующими нормативными документами. Разрабатывается и утверждается в установленном порядке проект технического задания на разработку проектной документации;

– *системное исследование технологической схемы шахты* выполняется со-

вместно с генеральным проектировщиком и заказчиком проектной документации и включает следующие виды работ: идентификация параметров, характеризующих состояние шахты; выявление влияния внешних и внутренних воздействий на устойчивость функционирования предприятия; выявление «узких» элементов (звеньев) ТСШ. Методика такого исследования подробно изложена в монографиях и методических рекомендациях [2; 5; 8; 9; 10; 13; 14]. Результатом исследования являются исходные данные для разработки технического задания на разработку проектной документации.

– *структурирование знаний, адаптивных к горно-геологическим, горнотехническим и экономическим условиям работы проектируемого предприятия* о способах и схемах вскрытия, подготовки шахтного поля; системах разработки; технологиях, технических устройствах и мероприятиях по промышленной и экологической безопасности; вентиляции, транспорте и других элементах ПСШ. Структурирование знаний осуществляется с целью выбора концептов, обоснования вида и весов причинно-следственных связей между элементами ПСШ. Под концептом следует понимать возможные источники, технологические и технические решения, необходимые для достижения поставленной цели при проектировании и эксплуатации шахты. К концептам можно отнести следующие основные группы переменных состояния ТСШ: горно-геологические и горнотехнические условия и параметры; качество и количество балансовых запасов; способы и схемы вскрытия и подготовки шахтного поля, проветривания, дегазации, водоотлива; система разработки; параметры механизации; типы и показатели основного и вспомогательного транспорта; параметры технологического комплекса на земной поверхности;

– *конструирование концептуальной модели.* Построение концептуальной модели ПСШ на разных этапах технического перевооружения и эксплуатации шахты осуществляется с использованием

топологии структурных элементов ПСШ и исходной информации. При разработке варианта концептуальной модели необходимо учитывать следующие свойства ПСШ:

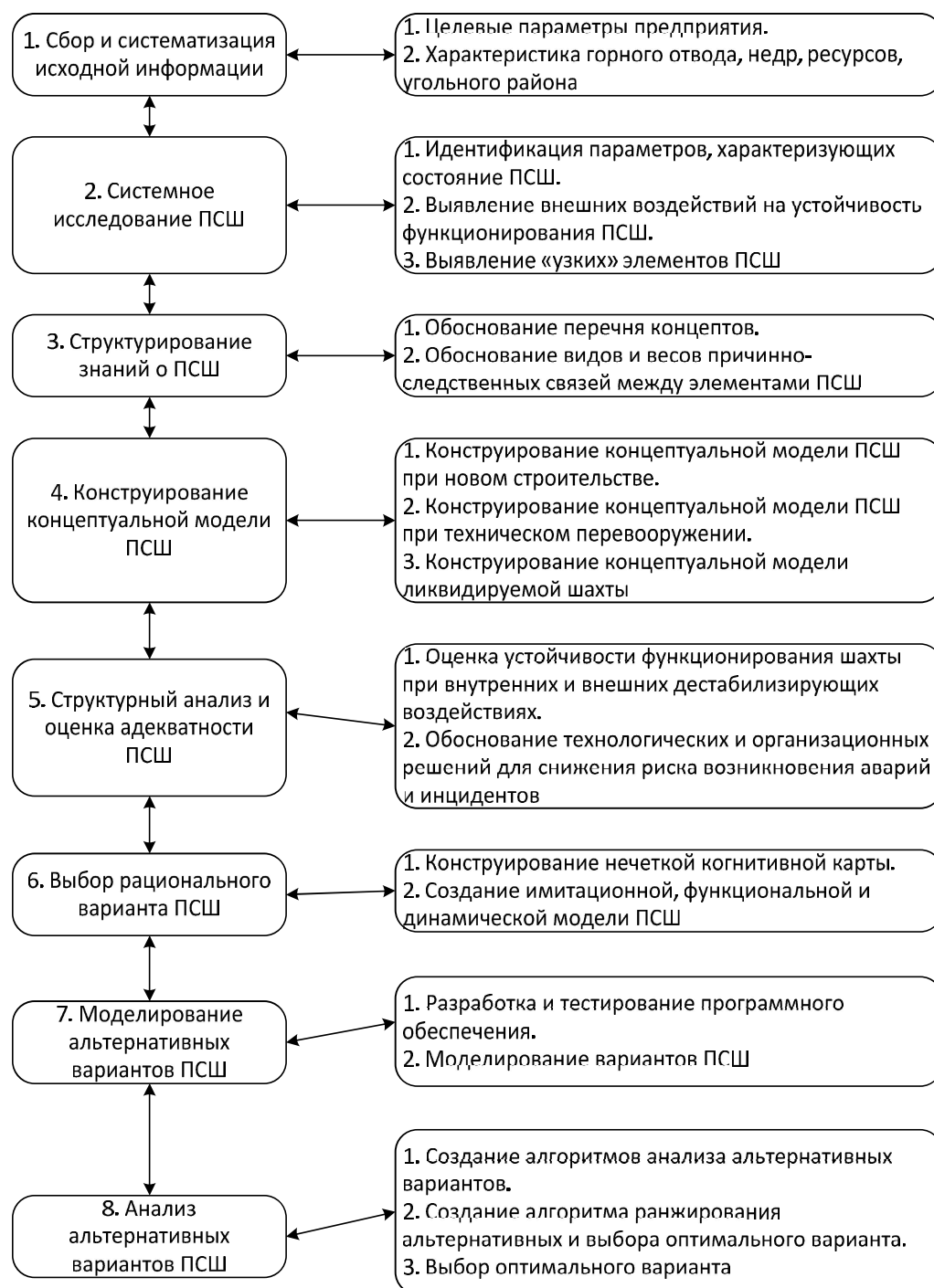


Рис. 1. Методология когнитивного моделирования, выбора и адаптации к реальным условиям действующей шахты новых элементов технологии подземной угледобычи

Fig. 1. Methodology of cognitive modeling, selection and adaptation to the actual conditions of the operating mine of new technology elements of underground coal mining

1) шахта как сложная система динамичная система развивается во времени и пространстве поэтапно с ограничениями по промышленным запасам, инвестициям, емкости угольного рынка и другим факторам;

2) развитие ПСШ происходит с нарастанием опыта отработки запасов угля в пределах горного отвода и деградацией принятых при проектировании технологических и технических решений в связи с развитием науки по созданию новых технологий и технических средств. Одним из путей ликвидации этой деградации является техническое перевооружение предприятия;

3) взаимодействие шахты с внешней средой, как опасного производственного объекта, сопровождается нарушением природного равновесия в связи с накоплением ущерба природе и населению в виде нарушения природного ландшафта при подработке земной поверхности, выбросов вредных и опасных газов, загрязнения водной среды;

4) каждый элемент ПСШ идентифицируется множеством переменных, мониторинг которых может осуществляться дискретно или непрерывно, в том числе с использованием автоматизированных систем в рамках многофункциональной системы безопасности (МФСБ);

5) объективно существует риск возникновения на шахте, как опасном производственном объекте, аварии или инцидента в пределах приемлемого риска. Риск аварии повышается при работе в экстремальных режимах;

6) на шахте функционирует организационно-управляющая система, которая в оперативном режиме по мере получения информации осуществляет мероприятия по снижению вероятности риска возникновения аварии или, в соответствии с планом ликвидации аварий, изменяет процесс ее развития.

В концептуальную модель ПСШ структурно входят подсистемы, которые принято называть агентами, то есть множеством объектов, имеющих одинаковые свойства и правила поведения. К агентам можно отнести технологические схемы проведения

подготовительных выработок, технологические схемы выемочных участков, схемы проветривания и т.д. (рис. 2);

– *структурный анализ и оценка адекватности концептуальной модели действующей шахты реальным условиям* (с использованием фактических показателей, типовых проектов, экспертных оценок и динамики угольного рынка;

– *когнитивное моделирование альтернативных вариантов (сценариев) развития ПСШ с использованием когнитивной карты (графа), определением консонанса влияния факторов и решением прямой задачи на основе транзитивной матрицы взаимовлияния концептов*. В блоке 1 рис. 2 осуществляется формирование альтернативных вариантов ПСШ под влиянием внешних воздействий (исходная информация, техническое задание на разработку проекта, особые лицензионные требования, ограничения нормативных документов и заключений специализированных организаций и др.). Варианты формируются в соответствии с целевыми индикаторами, которые могут быть одиночными или групповыми. В каждом варианте ПСШ возможно формирование альтернативных вариантов подсистем, указанных на рис. 2, в виде множеств частных вариантов A_1, A_i, A_n , где n – количество подсистем (агентов). Для каждого варианта ПСШ экспертами разрабатывается когнитивная модель (блок 2 на рис. 2). Результаты моделирования по каждому варианту накапливаются в виде базы знаний (блок 3).

– *комплексный анализ и ранжирование альтернативных вариантов новых элементов технологии подземной угледобычи для использования при разработке проектов технического перевооружения и паспортов выемочных участков* (блоки 4...6 рис. 2). Ранжирование альтернативных вариантов осуществляется по заданному критерию оптимизации.

Далее производится выбор рационального варианта и разработка и утверждение технологических решений в соответствии действующими нормативными и методическими документами.

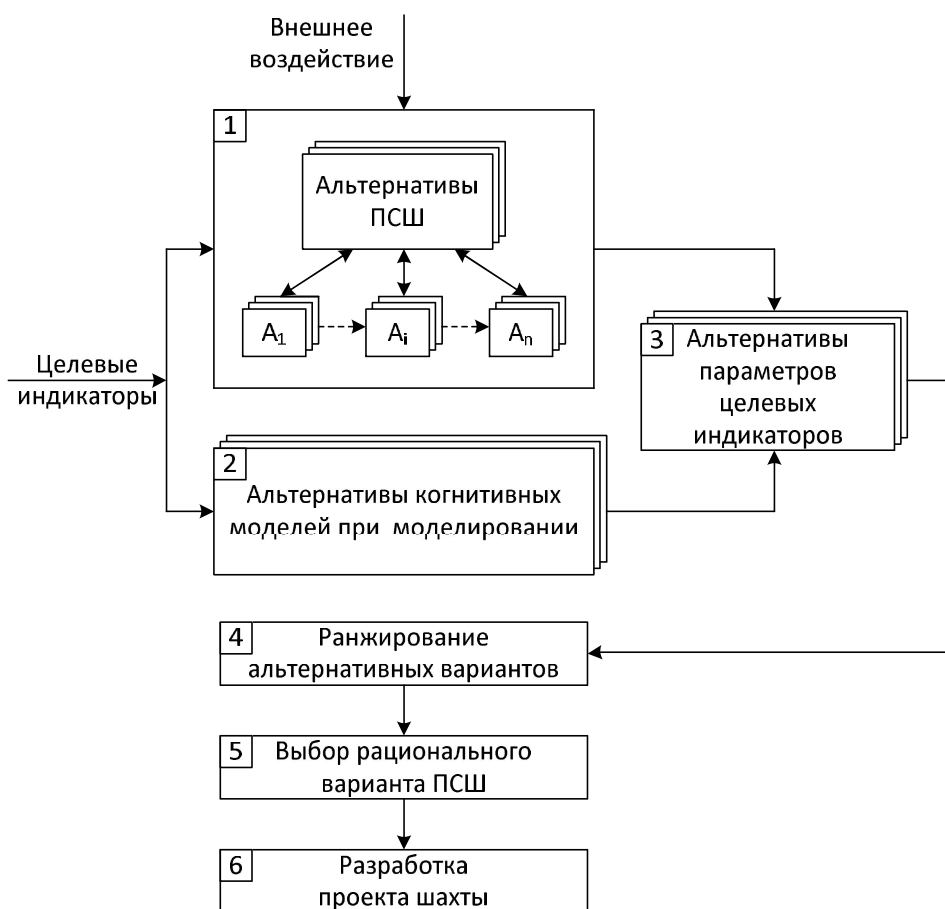


Рис. 2. Мультиагентная модель производственной системы шахты

Fig. 2. Multiagent model of the production system of a mine

На основе описанного методического подхода разработана компьютерная программа выбора новых технологических решений на действующей шахте. Программа используется для обоснования направлений поэтапного развития технологии подземной угледобычи на действующих шахтах в современных условиях недропользования. В программе реализован алгоритм сценарного развития сложных систем, включающий системный анализ результатов деятельности действующей шахты, оценку количества и качества инвестиций и запасов угля в недрах, а также динамику угольного рынка.

Результаты моделирования и их анализ будут представлены в следующей статье авторов.

Результаты исследования

1. Обосновано направление повышения рентабельности угольной отрасли

посредством адаптации традиционных и создания новых элементов технологии подземной угледобычи и поэтапного технического перевооружения технологических элементов на действующих шахтах.

2. Угольная шахта идентифицирована как сложная неоднородная слабоструктурированная производственная система, устойчивость функционирования которой повышается при поэтапном техническом перевооружении с использованием новых элементов технологии, обоснованных по результатам импульсного моделирования когнитивных карт.

3. К условиям действующих шахт адаптирована методология когнитивного моделирования и компьютерного моделирования процесса поэтапного выбора и адаптации к реальным условиям новых элементов ПСШ, обеспечивающая повышение

оперативности принятия решений и их качества в системе «инвестор-заказчик-проектная организация-экспертные и контролирующие организации – шахта».

Выводы. Установлено, что описание слабоструктурированной горнотехнической системы угольной шахты в виде кон-

цептуальной модели с использованием когнитивного подхода обеспечивает при моделировании выбор сценария развития предприятия, соответствующего динамике угольного рынка и изменчивости горно-геологических и горнотехнических условий.

Список литературы

1. Абрамова А. Н., Авдеева З. К. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций: проблемы методологии, теории и практики: мат-лы Междунар. конф. «Проблемы управления». М.: ООО «СенСи-Дат-Контрол», 2008. № 3. С. 85–87.
2. Агафонов В. В. Разработка научно-методического обеспечения формирования стратегии устойчивого развития горнотехнических систем угольных шахт: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2008. 47 с.
3. Архипова Н. И., Горелова Н. И., Кульба В. В. Управление в чрезвычайных. М.: РГГУ, 2008. 474 с.
4. Емельянов С. В., Коровин С. К., Мышляев Л. П. [и др.]. Теория и практика прогнозирования в системах управления. Кемерово: Кузбассвуиздат, 2008. 487 с.
5. Казанин О. И., Ромашкевич А. А. О научном сопровождении проектирования технологических схем интенсивной отработки угольных пластов // Записки Горного института. 2012. Т. 198. С. 104–107.
6. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф., Фомин О. Б. Сложные системы / ISD, 2010. Режим доступа: http://www.isdconsortium.ru/o_fizike_sistem/slozhnye_sistemy/. – 24.08.2015 (дата обращения: 02.02.2017 г.).
7. Кульба В. В., Кононов Д. А., Ковалевский С. С., Косяченко С. А., Нижегородцев Р. М., Чернов И. В. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем. М.: Ин-т проблем управления РАН, 2002. 122 с.
8. Малкин А. С. [и др.]. Проектирование шахт. М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. 375 с.
9. Мельник В. В., Шульцьева Л. И. Обоснование параметров геотехнологических систем шахт нового технического уровня // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. Вып. № 8. С. 229–233.
10. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов / под общ. ред. А. Д. Рубана. М.: Горная книга, 2010. 500 с.
11. Подображин С. Н. Причины аварии, произошедшей 19 марта 2007 г. на филиале «Шахта «Ульяновская ОАО «Объединенная угольная компания «Южкзбассуголь», и мероприятия по обеспечению безопасности на угольных шахтах // Безопасность труда в промышленности. 2007. № 5. С. 70–76.
12. Силов В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995. 228 с.
13. Таразанов И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2015 года // Уголь. 2016. № 3. С. 58–73.
14. Янковский А. О. О проблемах, перспективах и задачах угольной промышленности // Уголь. 2015. № 3. С. 9–11.

References

1. Abramova A. N., Avdeeva Z. K. *Kognitivnyy analiz i upravlenie razvitiem situatsiy: problemy metodologii, teorii i praktiki* (Cognitive analysis and management of the development of situations: problems of methodology, theory and practice): materials of the Intern. Conf. «Management problems». Moscow: LLC Sen-Si-Dat-Control, 2008, no. 3, pp. 85–87.
2. Agafonov V. V. Development of scientific and methodological support for the formation of a strategy for the sustainable development of mining systems of coal mines [Razrabotka nauchno-metodicheskogo obespecheniya formirovaniya strategii ustoychivogo razvitiya gornotekhnicheskikh sistem ugolnykh shaht]: author's abstract. dis. ... dr. techn. sciences. Moscow: Publishing house of the Moscow State Mining University, 2008. 47 p.
3. Arkhipova N. I., Gorelova N. I., Kulba V. V. *Upravlenie v chrezvychaynykh* [Management in emergency]. Moscow: RSHU, 2008. 474 p.
4. Emelyanov S. V., Korovin S. K., Myshlyayev L. P. [and others]. *Teoriya i praktika prognozirovaniya v sistemah upravleniya* [Theory and practice of forecasting in control systems]. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2008. 487 p.
5. Kazanin O. I., Romashkevich A. A. *Zapiski Gornogo instituta* (Notes of the Mining Institute), 2012, vol. 198, pp. 104–107.

6. Kachanova T. L., Fomin B. F., Fomin O. B. *ISD (ISD)*, 2010 Available at: http://www.isdconsortium.ru/o_fizike_sistem/slozhnye_sistemy (Date of access: 02.02.2017).
7. Kulba V. V., Kononov D. A., Kovalevsky S. S., Kosyachenko S. A., Nizhegorodtsev R. M., Chernov I. V. *Stsenarnyy analiz dinamiki povedeniya sotsialno-ekonomicheskikh sistem* [Scenario analysis of the behavior dynamics of socio-economic systems]. Moscow: Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, 2002. 122 p.
8. Malkin A. S. [and others]. *Proektirovanie shaht* [Designing of mines]. Moscow: Izd-vo Academy of Mining Sciences, 2000. 375 p.
9. Melnik V. V., Shultyaeva L. I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information-analytical bulletin), 2010, issue 8, pp. 229–233.
10. *Podgotovka i razrabotka vysokogazonosnykh ugolnykh plastov* [Preparation and development of high-gas-bearing coal seams]; under total. ed. A. D. Ruban. Moscow: Mining Book, 2010. 500 p.
11. Podobrazhin S. N. *Bezopasnost truda v promyshlennosti* (Labor safety in industry), 2007, no. 5, pp. 70–76.
12. Silov V. B. *Prinyatie strategicheskikh resheniy v nechyotkoy obstanovke* [The adoption of strategic decisions in a fuzzy environment]. Moscow: INPRO-RES, 1995. 228 p.
13. Tarazanov I. G. *Ugol* (Coal), 2016, no. 3, pp. 58–73.
14. Yankovsky A. O. *Ugol* (Coal), 2015, no. 3, pp. 9–11.

Коротко об авторах

Кулак Виталий Юрьевич, генеральный директор ЗАО «Промуглепроект», г. Новокузнецк, Россия. Область научных интересов: подземная добыча полезных ископаемых
Vitaly.Kulak@tvraz.com

Петрова Татьяна Викторовна, д-р экон. наук, профессор кафедры «Менеджмент и отраслевая экономика», Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия. Область научных интересов: рациональное недропользование
ptrvt@mail.ru

Briefly about the authors

Vitaliy Kulak, general director of CJSC "Promugleproyekt", Novokuznetsk, Russia. Sphere of scientific interests: underground mining of minerals

Tatyana Petrova, doctor of economics sciences, professor, Management and Branch Economy department, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia. Sphere of scientific interests: rational subsurface use

Образец цитирования

Кулак В. Ю., Петрова Т. В. Обоснование направлений поэтапного развития технологии подземной угледобычи на действующих шахтах на основе когнитивного моделирования // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2017. Т. 23. № 3. С. 12–21. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-3-12-21.

Kulak V.Yu., Petrova T.V. Substantiation of the directions of the phased development of technologies of underground coal mining at active underground mines in modern subsurface resource management // Transbaikal State University Journal. 2017, vol. 23, no 3, pp. 12–21. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-3-12-21.

Дата поступления статьи: 28.02.2017 г.
Дата опубликования статьи: 31.03.2017 г.

