

УДК 622.272:658.512

**В.О. Михеев, А.Б. Агафонова**

**ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СТРУКТУРНЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ  
ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

*Показано, что при формировании проектных решений технологических схем угольных шахт в обязательном порядке необходимо учитывать основные аспекты концепции эмерджентных свойств системы (несовместимость, отказы и др.) и принципы иерархии и соподчиненности элементов подсистем, адаптации, устойчивости и т.д.*

*Ключевые слова: эмерджентные свойства, проектирование, угольная шахта.*

---

**Н**а современном этапе развития угольной промышленности для обеспечения должной конкурентоспособности угольных предприятий в России и мировой практике принята концепция перехода к интенсивным и инновационным технологиям угледобычи (технологические структуры «шахта-лава», многоштрековая подготовка и отработка запасов выемочных участков, совместная (открыто-подземная) отработка запасов месторождений и др.). Данное обстоятельство диктуется в основном перманентной нестабильностью топливно-энергетического рынка, последствиями мирового экономического кризиса и напрямую определяется продуктивностью и рентабельностью угледобывающих предприятий в современной рыночной среде.

В общем случае главным преимуществом инновационных технологий является постоянное и неуклонное повышение производительности труда, которое в передовых угледобывающих странах увеличивается ежегодно на 10—15 %, причем это обеспечивается за счет роста энергооборуженности угледобывающего оборудова-

ния, его производительности и надежности, и как следствие, безотказности, которая у большинства машин составляет 80-95 %.

Анализ прикладных и теоретических исследований в сфере горной науки показал, что немалая роль в этой области отводится и аспекту создания высокоэффективных и прогрессивных технологических схем угольных шахт, адаптированных для функционирования в рыночных условиях с учетом сложившихся тенденций и закономерностей. Естественно, что преобладающая роль при этом должна отдаваться последним достижениям угледобывающей техники и технологиям угледобычи, социально-экономическим требованиям к труду, обеспечению должной промышленно-экологической безопасности на современном уровне развития научно-технического прогресса.

При формировании технологических схем угольных шахт при этом в обязательном порядке необходимо учитывать основные аспекты концепции эмерджентных свойств системы (несовместимость, отказы и др.) и принципы иерархии и соподчиненно-

сти элементов подсистем, адаптации, устойчивости и т.д.

Таким образом, в условиях динамично развивающейся конкурентной среды на рынке угля вопрос синтеза высокопроизводительных и прогрессивных технологических схем угольных шахт с комплексной оптимизацией их структур является актуальной задачей, причем приоритет формирования устойчивой конкурентной позиции должен достигаться за счет эффективного системного взаимодействия всех элементов технологической схемы.

Анализ фундаментальных исследований, выполненных в области проектирования угольных шахт, позволяет классифицировать их по следующим направлениям:

— методы оптимизации локальных задач, при реализации которых производится выбор отдельных технологических решений;

— экономико-математические, имитационные и вариационные модели и алгоритмы комплексной оптимизации всех основных качественных и количественных характеристик и параметров технологических схем угольных шахт для различных условий эксплуатации при ограничениях внутренней и внешней сред;

— теоретические работы по исследованию методологии синтеза высокопродуктивных и прогрессивных технологических схем угледобывающих предприятий и оптимального проектирования угольных шахт,

— теоретические работы по исследованию трансформации технологических схем угольных шахт в многофункциональные шахтосистемы под воздействием развития научно-технического прогресса в области угледобывающей техники и технологии, социально-экономических требований

к труду и промышленно-экологической безопасности.

В этой связи необходимо выделить группу исследований по созданию и развитию научных основ проектирования угольных шахт, т.е. совершенствованию технологии и методов их проектирования. Существование этого направления обусловлено тем, что технологическая схема шахты представляет из себя сложную иерархическую динамично развивающуюся систему и характеризуется многовариантностью выполняемых процессов. Поэтому от того, насколько правомерно синтезирована технологическая схема угольной шахты из отдельных функционально связанных элементов, во многом зависит эффективность ее функционирования в конкретных горно-геологических условиях.

Решение вопроса эффективной эксплуатации угольных месторождений связано не только с созданием и внедрением прогрессивных технологических схем, учитывающих новейшие достижения науки и техники, но и с достижениями наибольшего соответствия технологии среде ее использования. Требуемый уровень адаптивности технологической схемы в заданном диапазоне условий достигается при этом целенаправленным воздействием на горный массив, обеспечивающим наибольшую работоспособность и эффективность проектируемых технологических звеньев шахты.

Изменчивости разнообразие горно-геологических условий разработки угольных месторождений на современном этапе определяют разнообразие технических и технологических решений и необходимость их постоянной корректировки. В связи с этим высокие требования должны предъявляться к качеству проектиро-

вания, так как при этом определяется облик будущей высокоэффективной шахты с высокой концентрацией горного производства, поэтому одним из путей решения этой проблемы является автоматизация проектных работ, обеспечивающая анализ любого необходимого множества вариантов на основе использования экономико-математического моделирования и методов оптимизации проектных решений при выборе наиболее рационального варианта.

В настоящее время основу методологии проектирования предприятий угольной отрасли составляют линейные и нелинейные дискретные экономико-математические модели, которые реализуются с помощью одного или нескольких методов, например, комплексной оптимизации, имитационного моделирования, прогнозирования, теории и приложений нечетких множеств, когнитивных и динамических алгоритмов, анализа и параметрического синтеза стохастических систем, гибридные методы моделирования общего экономического равновесия с использованием агент-ориентированных моделей, энтропийного анализа сложных систем, структурного системного анализа IDEFO и др.

Значительный практический интерес представляют игровые проектные задачи, решаемые при неопределенности исходной информации, например при проектировании новых шахт, особенно для разработки участков месторождений в неосвоенных геологопромышленных районах. В связи с ограниченностью данных о геологическом строении месторождения в подобных случаях многие из них оказываются в известном смысле неопределенными, и вектор  $Y$  может принимать некоторое множество различных значений в пределах заданной обла-

сти  $E$ . Ситуации, характеризующиеся неопределенностью, можно анализировать с помощью нечетких когнитивных моделей, которые представляют собой знаковый ориентированный граф. Каждой вершине графа соответствует фактор ситуации, а каждой дуге функциональная зависимость факторов между соседними узлами. Эта зависимость может быть алгебраической или иметь весовое значение. Нечеткие когнитивные модели можно применить для моделирования процессов геотехнологической системы, находящейся в трёх режимах: нормальном, предаварийном или чрезвычайном. Таким образом, теория и приложения нечетких множеств, в том числе нечетких когнитивных моделей могут быть применены в качестве дополнения к методологии системного моделирования для конкретизации отдельных элементов этой методологии к процессу нечеткого моделирования нечетких моделей геотехнологической системы.

Другим направлением совершенствования методов оптимального проектирования является учет резерва времени на освоение техники. Очень редко удается в точности реализовать проект, как бы качественно он не был разработан, из-за отсутствия необходимого оборудования, особенно если оно является новым. Поэтому шахта, построенная с вынужденными отклонениями от проекта, может осваивать высокие показатели (добычу, производительность труда, себестоимость, рентабельность) лишь постепенно, по мере освоения новой техники. Метод оптимизации должен учитывать этот фактор, чтобы проектные показатели не оказались заведомо нереальными.

Следующей задачей является обеспечение приспособляемости (адаптив-

ности) построенной или реконструированной шахты к внедрению техники более совершенной, чем было предусмотрено проектом. В течение длительного срока эксплуатации шахты, исчисляемого несколькими десятилетиями, естественно появление новых прогрессивных технических решений, и шахта должна быть так запроектирована, чтобы внедрение этих новых решений на ней создавало условия для повышения эффективности производства. Эта задача тесно связана с развитием методов прогнозирования. До настоящего времени господствовала (не всегда вполне осознанная) научная доктрина **консервативного** направления развития горной технологии, которая опиралась на концепцию **экстенсивного** совершенствования каждого из элементов горного производства, не затрагивая их сути (увеличение мощности, массы, размеров и т.д.). В целом эта «старая» доктрина, которая в свое время не получила концептуально четкой формулировки, исторически представляет собой совокупность поэтапных усовершенствований **традиционных** технических и технологических решений, направленных в большинстве своем на устранение «узких мест» техники и технологии. Как доказывает история развития технических систем, попытки преодолеть технические противоречия на основе традиционных подходов не могут увенчаться успехом. Следует изменить основные принципы создания шахты будущего, перейти к горной технике и технологии нового уровня.

Проектирование угольных предприятий представляет собой сложный, многообразный и трудоемкий процесс, который необходимо рассматривать как совокупность целого ряда социально-организационных и инженерно-

технических стадий. Такой системный подход к решению проектных задач обеспечит высокий социально-экономический уровень функционирования угледобывающих объектов. Этот подход выработан в процессе развития проектного дела в угольной отрасли.

На современном этапе развития научно-технического прогресса выявляется совершенно новое пространство и задачи проектирования, которые специфичны и характерны только для горного дела. Необходимо отметить, что угольные месторождения в различных угольных бассейнах представляют собой колоссальнейшее разнообразие и отличаются индивидуальностью, непохожестью на другие, ранее уже известные и успешно разрабатываемые месторождения. При этом перемены в природной и внешней средах функционирования технологических систем угольных шахт происходят настолько быстро, что прогнозирование развития подземных горных работ на предприятии становится невозможным, происходит во многих случаях смещение акцента с долгосрочного на среднесрочное планирование. В связи с этим вместо планирования угольные шахты вынуждены приспособливаться, развивать способность быстрой адаптации к меняющимся условиям. В какой-то степени это соответствует прогнозам, принятым в проектных проработках, но угроза радикального пересмотра проектов все более просматривается из-за постоянного и все более возрастающего усложнения горно-геологических и горнотехнических условий разработки угольных месторождений.

Опыт реализации проектных решений в угольной отрасли показывает, что существенные просчеты, допускаемые при проектировании угольных шахт, негативно сказываются на ус-

тойчивости, эффективности и безопасности функционирования технологических систем шахт. В конечном итоге имеет место необъективный учет факторов, определяющих качество формирования и функционирования, адекватность изменения характеристик изменениям горно-геологических условий, технического прогресса и экономических изменений в отрасли.

Исходя из этого проекты и проектные решения должны быть гибкими к возможным переменам, изменениям, их скорости, — между тем возможности вариантов изменений в горном, весьма капиталоемком проектировании ограничены. Требование оперативного реагирования на изменения в проекте становится самостоятельным, системным и конструктивным критерием. Зачастую ошибочным, а в ряде случаев и опасным случаем является типовое проектирование, называемое также проектированием по аналогии, т.е. копирование ранее запроектированных и успешно примененных на других месторождениях горных технологий по добыче угля.

Решение этих вопросов оказывается эффективным лишь на основе синтеза рационального варианта технологической системы шахты из наиболее предпочтительных в заданных условиях элементов ее структуры.

Современные угольные производства отличаются многостадийностью получения целевых продуктов, сложностью технологических решений, высокой энергонасыщенностью и материалоемкостью, большой протяженностью и сложностью топологической сети горных выработок, трубопроводных и кабельных коммуникаций, глубиной функциональной взаимозависимостью по материальным, энергетическим и информационным потокам отдельных стадий и процессов.

Строительство и ввод в эксплуатацию угледобывающих предприятий связаны со значительными затратами денежных средств, материальных и трудовых ресурсов и поэтому они должны вестись по проектам, обеспечивающим:

- реализацию последних достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта;
- внедрение высокопроизводительного энергосберегающего оборудования, установок и агрегатов большой единичной мощности;
- рациональное использование природных ресурсов, комплексное использование сырья, материалов и ресурсов, организацию безотходной энергосберегающей технологии производства;
- автоматизацию и механизацию производственных процессов, отдельных технологических машин и аппаратов.

Трудность создания структурной модели технологической схемы угольной шахты состоит в сложности корректного совмещения классификационных признаков и элементов, в колоссальном количестве вероятных сочетаний качественных характеристик, а также в необходимости охватить все возможные сочетания при условии упрощения характеристического ориентированного графа до того момента, когда в один разряд классификаций начнут попадать элементы с различными качественными характеристиками, в противном случае возникает множество несовместимых элементов и недопустимых путей на графе.

Общий алгоритм выбора оптимального и формирования множества рациональных вариантов технологической схемы угольной шахты в соответствии с постановкой задачи выглядит следующим образом:

— формируется обобщенная классификационная структура технологических схем угольных шахт (упорядоченный перечень элементов и уровней),

— формируется структурная модель всех возможных вариантов технологической схемы с учетом совместности и адаптации отдельных технологических элементов внутри каждого варианта,

— в модель вводятся ограничения горно-геологического и горнотехнического плана (области применения элементов технологической схемы),

— на базе математической модели формируются матрицы совокупных коэффициентов эффективности отдельных элементов технологической схемы на основе статистических данных (техничко-экономических показателей) угольных шахт региона,

— на базе вычисленных интегральных показателей эффективности определяется рациональный вариант технологической схемы.

Одной из важнейших итераций и условий возможности реализации процедуры формирования и синтеза технологических схем угольных шахт является технологическая совместимость альтернативных и принятых к учету вариантов проектных решений по взаимосвязанным элементам технологических схем, причем взаимосвязанными считаются элементы, которые не могут быть реализованы независимо друг от друга. Так например, индивидуальная схема отработки запасов шахтного поля не совмещается с секционным (блочным) расположением главных вскрывающих выработок и секционной (блочной) схемой

вентиляции. В свою очередь, с блочной схемой отработки запасов шахтного поля не совмещается центральное, центрально-отнесенное, фланговое, отнесенное расположение главных вскрывающих выработок, центрально-отнесенная, центрально-сдвоенная и фланговая схема вентиляции. Рассмотрение уровня «Группирование угольных пластов» невозможно при наличии одного угольного пласта в шахтном поле. Технологические структуры «шахта-лава» нереализуемы при углах падения более  $18^\circ$  и сильной нарушенности угольных пластов с изменяющейся гипсометрией угольных пластов. Поточная схема транспорта, требующая использования цепочки конвейерных линий от очистного забоя до поверхности, также, в принципе, невозможна при угле падения свыше  $18^\circ$ . Многофункциональные технологические комплексы поверхности нецелесообразно формировать при одноцелевой направленности деятельности угледобывающего предприятия (только добыча угля). Высокоэффективные шахтосистемы невозможно сформировать без использования технологических структур шахта-лава и т.д. Данные аспекты подземной угледобычи вводятся в виде ограничений на выбор тех или иных элементов в упорядоченной форме. Таким образом, возникает необходимость формирование матрицы ограничений технологической совместности элементов технологической схемы угольной шахты, которая автоматически вводится в общую модель программного обеспечения реализации общей блок-схемы алгоритма. **ГИАБ**

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

*Агафонова Альбина Борисовна* – старший преподаватель,

*Михеев Виталий Олегович* – студент,

Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru