

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-5-91-96  
УДК 622.831.232:004.942

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ В СОВРЕМЕННЫХ РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ

### IMPROVING THE TECHNOLOGY OF COAL MINE DESIGN IN MODERN MARKET CONDITIONS

**Кулак Виталий Юрьевич,**  
генеральный директор,, e-mail: Vitaly.Kulak@evraz.com  
**Kulak Vitaly Yu.,** General Director

АО «Промуглепроект», 654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, пр-т. Курако, 33  
LLC «Promugleproekt», 654007, Kemerovskaya obl., t. Novokuznetsk ,ave.Kurako, 33

**Аннотация.** Представлены результаты исследования и реализации новых направлений совершенствования технологии проектирования современных угольных шахт, отличающейся концепцией и принципами пошагового управления энтропией горнотехнической системы шахты с учётом взаимодействия групп пассивных внутренних и внешних факторов, негативно влияющих на технико-экономические показатели предприятия, и активных «форсификаторов», направленных на компенсацию вредного влияния пассивных факторов для достижения приемлемой энтропии. Для выбора варианта строительства новой или технического перевооружения действующей шахты адаптированы и реализованы методы когнитивного моделирования взаимодействия внутренних и внешних элементов сложной технологической системы на основе синтеза и комплекса нетрадиционных способов газоуправления, базирующихся на использовании суперпозиции геомеханических и сорбционных деформаций; воздействии на угольный массив гидроразрывом и физическими полями; волнообразным выделением метановоздушной смеси из выработанного пространства; веерным расположением длинных дегазационных скважин направленного бурения. Элементы новой технологии проектирования реализованы в проектах технического перевооружения шахт «Алардинская», «Ерунаковская VIII» в Кузбассе.

**Abstract.** Presented are the results of research and implementation of new areas for improving the technology of modern coal mines designing, which is distinguished by the concept and principles of incremental management of the entropy of the mining system of the mine, taking into account the interaction of groups of passive internal and external factors that adversely affect the company's technical and economic performance indicators, and active "forsifiers", aimed at compensating for the harmful influence of passive factors to achieve acceptable entropy. To select the option of constructing a new or technical re-equipment of the operating mine, methods of cognitive modeling of the interaction of internal and external elements of a complex technological system on the basis of synthesis and a complex of non-traditional gas control methods based on the use of superpositions of geomechanical and sorption deformations have been adapted and implemented; impact on the coal mass by hydraulic fracturing and physical fields; wave-like separation of methane-air mixture from the developed space; fan arrangement of long degassing wells of directional drilling. Elements of the new design technology are implemented in the technical re-equipment projects of the mines "Alardinskaya", "Erunakovskaya VIII" in Kuzbass.

**Ключевые слова:** проекты шахт, угольные месторождения, геотехнология, техническая документация, сценарии развития шахт, метод вариантов, метод когнитивного моделирования, механизм управления проектами.

**Keywords:** mine projects, coal deposits, geotechnology, technical documentation, mines development scenarios, variants method, cognitive modeling method, project management mechanism.

### Введение

Понятие технологической схемы шахты предлагается расширить посредством включения в неё таких элементов как угольный рынок, менеджмент, персонал, недра. Доказано, что учёт взаимного влияния указанных факторов в проектной документации с поэтапной её реализацией при строительстве и техническом перевооружении шахт обеспечивает высокий уровень адаптации проектных решений к изменениям одного или группы факторов.

Для управляющих воздействий на траекторию развития предприятия обоснованы форсификаторы, реализация которых приводит к приемлемой в пределах заданного инвестором предела энтропии технологической системы шахты. Такими форсификаторами могут быть цены на угольную продукцию, способы вскрытия и подготовки шахтных полей, системы разработки, способы дегазации и профилактики эндогенных пожаров, требования по промышленной и экологической безопасности.

Обоснована концепция пошагового управления горнотехнической системой угольной шахты как сложной организационной системой, на которой все службы, в том числе привлечённые проектные и специализированные организации, участвуют в процессе принятия решений и выработке сценариев и стратегии развития. При проектировании и строительстве шахты нового типа организуется производство, ориентированное на рациональное освоение запасов шахтного поля, достижения максимально возможной прибыли при

минимальном риске аварий и обеспечении здоровых и безопасных условий труда на каждом рабочем месте.

В соответствии с указанной концепцией совершенствования технологии проектирования угольных шахт в современных рыночных условиях целью исследований является разработка научно-методической базы процессного поэтапного проектирования адаптированных к сложным природным и рыночным условиям элементов горнотехнической системы, реализация которых обеспечивает в условиях неопределённости внешних и внутренних воздействий повышение конкурентоспособности угольных шахт и безопасные условия их эксплуатации.

Для достижения поставленной цели решены следующие основные задачи:

1. Обоснованы концепция и принципы пошагового управления горнотехнической системой угольной шахты посредством поэтапного проектирования и освоения недр с использованием энтропийного подхода при оценке воздействия стохастических внешних и внутренних воздействий.

2. Адаптированы методы когнитивного импульсного моделирования для выявления и ранжирования существенных элементов технологических систем угольных шахт.

3. Разработаны адаптивные к внутренним воздействиям геосреды и стохастического угольного рынка варианты элементов горнотехнической системы высокогазоносной угольной шахты для разработки новых участков угольных месторождений

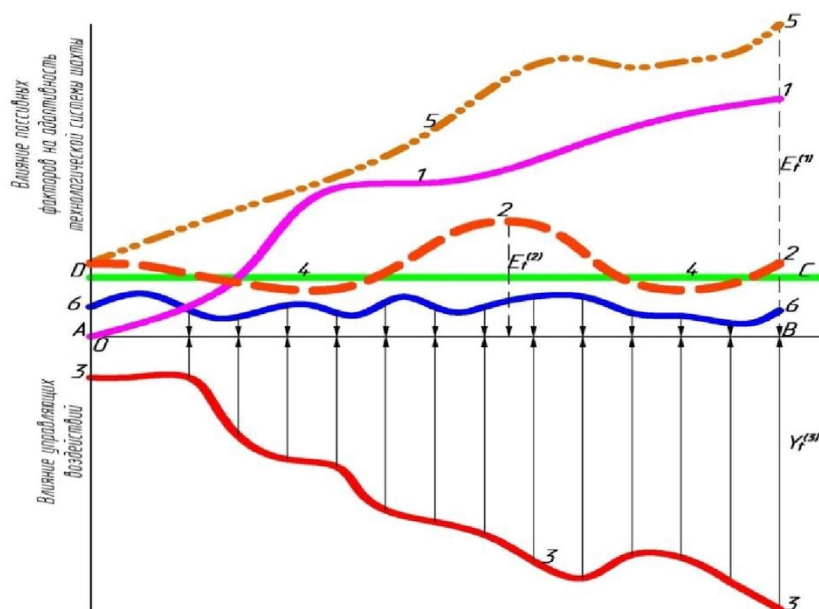


Рис.1. Схема управления взаимодействия элементов внешней и внутренней сред и управляющих воздействий в структуре горнотехнической системы шахты:

1 – группа пассивных факторов, негативно влияющих на технико-экономические показатели предприятия  $E_t^{(1)}$ ; 2 – группа внешних факторов  $E_t^{(2)}$ ; 3 – группа активных «форсификаторов», направленных на компенсацию вредного влияния пассивных факторов  $Y_t^{(3)}$ ; 4 – приемлемая энтропия системы  $E_{np}$ ; 5 – полная энтропия системы; 6 – траектория изменения энтропии при реализации корректирующих управляющих воздействий D

или технического перевооружения действующих предприятий.

4. Разработан механизм пошагового процессного управления проектами при поэтапном техническом перевооружении предприятия в структуре единой стратегии комплексного освоения месторождения.

5. Разработаны и реализованы при авторском мониторинге проектные технологические и технические решения по поэтапному проектированию угольных шахт в современных условиях недропользования.

#### Методы исследования

Для решения поставленных задач использован следующий комплекс методов: анализ теории и практики проектирования угольных предприятий; синтез вариантов технологических систем шахт; теория адаптации; процессный подход и когнитивное моделирование траектории развития во времени и пространстве угледобывающих предприятий; теория управления сложными системами;

мониторинг проектных решений для обоснования корректирующих воздействий на процесс развития предприятия при его строительстве или техническом перевооружении; натурный эксперимент при авторском сопровождении проектных решений отработки свиты угольных пластов, склонных к газодинамическим явлениям в сложных природных и техногенных условиях угольных шахт.

#### Результаты исследования

Основные научные и практические результаты, полученные автором:

1. Разработаны концепция и принципы пошагового управления модернизацией горнотехнической системы шахты по критерию минимизации её энтропии посредством учёта взаимодействия групп пассивных внутренних и внешних факторов, негативно влияющих на технико-экономические показатели предприятия, и активных «форсификаторов», направленных на компенсацию вредного влияния пассивных факторов в

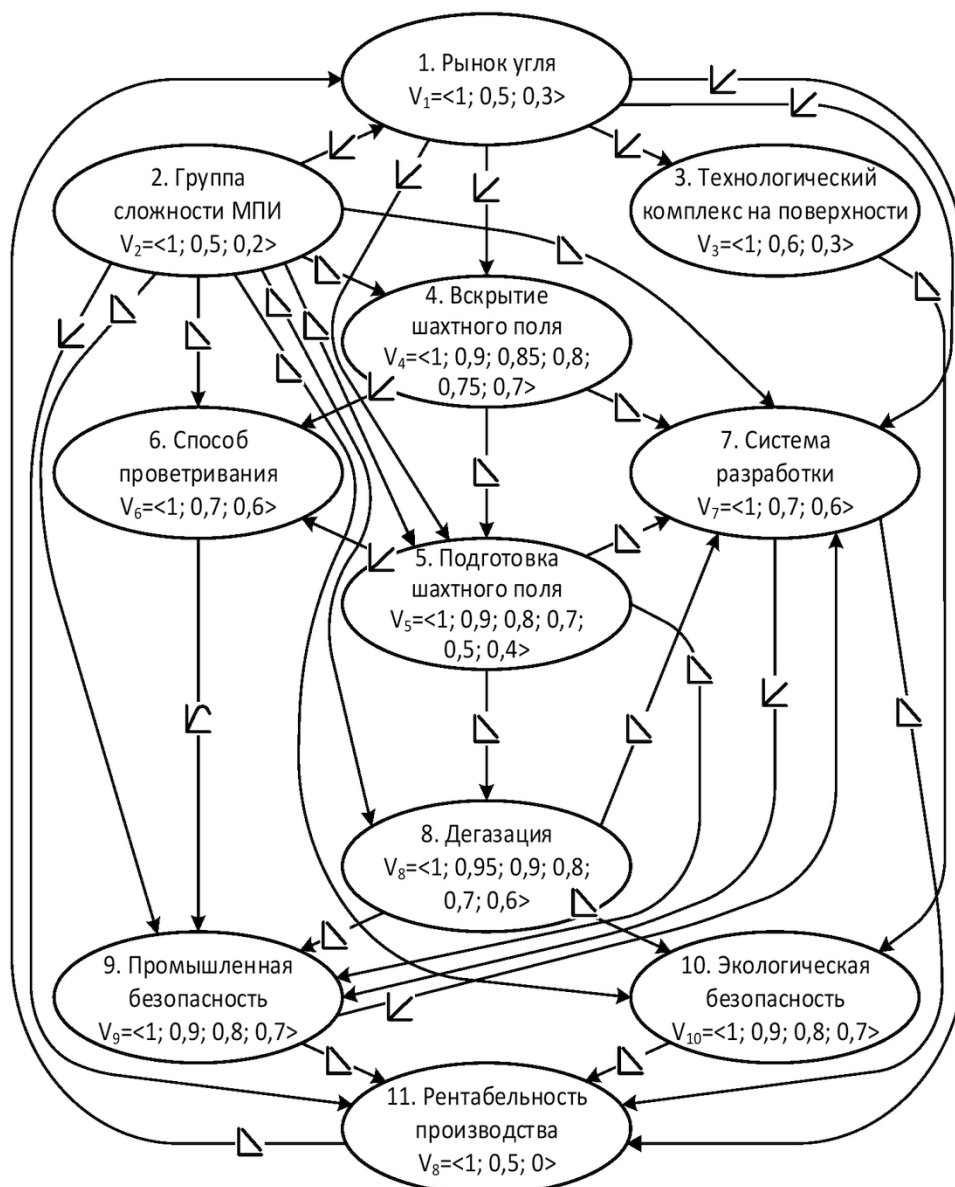


Рис. 2. Нечеткая обобщённая когнитивная карта горнотехнической системы угольной шахты



пределах приемлемого риска. Общая схема управления энтропией угольной шахты представлена на рис. 1.

На практике факторы всех трёх групп накладываются во времени и пространстве, и предлагается выделить область ABCD устойчивой работы предприятия с приемлемой энтропией (линия 4 на рис. 1). Фактический уровень энтропии  $D_t$  горнотехнической системы шахты во время  $t$  предлагается определять по следующей формуле:

$$D_t = E_t^{(1)} + E_t^{(2)} - Y_t^{(3)} \leq E_{пр}. \quad (1)$$

Управляющие воздействия могут привести к изменению режима работы шахты, однако траектория изменения энтропии (линия 6 на рис. 1) при стабильной работе предприятия должна быть во всех случаях в пределах области ABCD рис. 1.

При возникновении аварии энтропия  $D_t$  горнотехнической системы резко возрастает, то есть  $D_t > E_{пр}$ . В этом случае для ликвидации последствий аварии необходимо привлечение дополнительных ресурсов, в том числе разработка нового проекта.

Например, при увеличении цен на уголь энтропия технологической системы шахты снижается, то есть возможно вовлечение в отработку запасов угольных пластов с более сложными горно-геологическими условиями; в случае падения цен на рынке энтропия системы, наоборот, увеличивается, и возникает необходимость выборочной отработки запасов полезных ископаемых.

2. Адаптирован к условиям горнотехнической системы шахты и реализован метод когнитивного

импульсного моделирования, который обеспечивает выявление существенных влияющих факторов и их ранжирование по значимости влияния на выбранные критерии оптимальности при заданных ограничениях.

Адаптацию методологии когнитивного моделирования к процессу поэтапного проектирования технологических схем угледобывающих предприятий предлагается осуществлять посредством построения и анализа графа нечеткой обобщённой когнитивной карты горнотехнической системы угольной шахты (рис. 2).

Установлено, что для высокогазоносных шахт Кузбасса, отрабатывающих пологие пласты средней мощности на глубине до 600 м, вариации импульсов существенных факторов на 50 % приводят к изменению рентабельности шахты в виде следующего ряда отношений по сравнению с показателями при отсутствии импульсов: горно-геологические условия – 2,3, дегазация – 2,5, подготовка шахтного поля – 2,4, система разработки – 1,4, промышленная безопасность – 1,2. При одновременном влиянии нескольких импульсов эти отношения почти аддитивно возрастают.

3. Разработан механизм процессного проектирования при поэтапном техническом перевооружении с использованием алгоритма частичного матричного перебора элементов горнотехнической системы шахты. Механизм реализуется поэтапно: разработка проектной документации и частичная её реализация, авторский аудит; формирование альтернативных сценариев развития предприятия, прогноз по результатам моделирования параметров оптимального сценария развития горнотехнической системы шахты в целом.



Рис.3. Гистограмма распределения затрат по элементам горнотехнической системы ООО «Шахта «Ерунаковская VIII», Кузбасс

По результатам тестирования механизма процессного управления проектами для условий шахты «Ерунаковская VIII», установлено (рис. 3), что затраты по первому варианту строительства шахты больше по сравнению с оптимальным вариантом на 47,6%, а реализованный после нескольких этапов технического перевооружения вариант дороже оптимального на 8,5%, то есть у действующего предприятия имеются резервы для улучшения технико-экономических показателей при поэтапном техническом перевооружении.

4. Разработана методология поэтапного освоения месторождения посредством выбора и реализации технологических решений с адаптацией их к конкретным горно-геологическим и горнотехническим условиям недропользования и требованиям угольного рынка, что реализовано на шести шахтах Кузбасса. Основные результаты, реализованные на основе исследований следующие:

- схема подготовки и отработки пласта Е-5 блока № 4 шахты «Осинниковская», обеспечившая повышение степени разведанности запасов, оптимального пространственно-временного размещения выемочных участков при максимальной нагрузке на очистные забои;
- технологические решения в проекте подготовки и отработки участка «Алардинский Восточный-2» шахты «Алардинская», включающие дополнительную отработку запасов пласта 6 при оптимальной вентиляционной сети;
- оптимальный вариант развития горнотехнической системы высокогазоносной

угольной шахты «Ерунаковская VIII», обоснованный с использованием методик когнитивного моделирования и матричного перебора альтернативных сценариев отработки весьма сближенных пластов 48 и 45.

Эффективность внедрения результатов исследований представлена на рис. 4.

#### Выводы

– разработаны концепция и принципы пошагового управления энтропией горнотехнической системой угольной шахты, отличающиеся учётом взаимодействия групп пассивных внутренних и внешних факторов, негативно влияющих на технико-экономические показатели предприятия, и активных «форсификаторов», направленных на компенсацию вредного влияния пассивных факторов для достижения приемлемой энтропии.

– адаптирован к условиям горнотехнической системы шахты и реализован метод когнитивного импульсного моделирования, отличающийся возможностью выявления и ранжирования существенных влияющих факторов по значимости в виде ряда;

– разработан механизм процессного управления проектами при поэтапном техническом перевооружении, отличающийся использованием алгоритма частичного матричного поэтапного перебора элементов горнотехнической системы шахты и выбора параметров по результатам моделирования оптимального сценария развития горнотехнической системы шахты в целом.

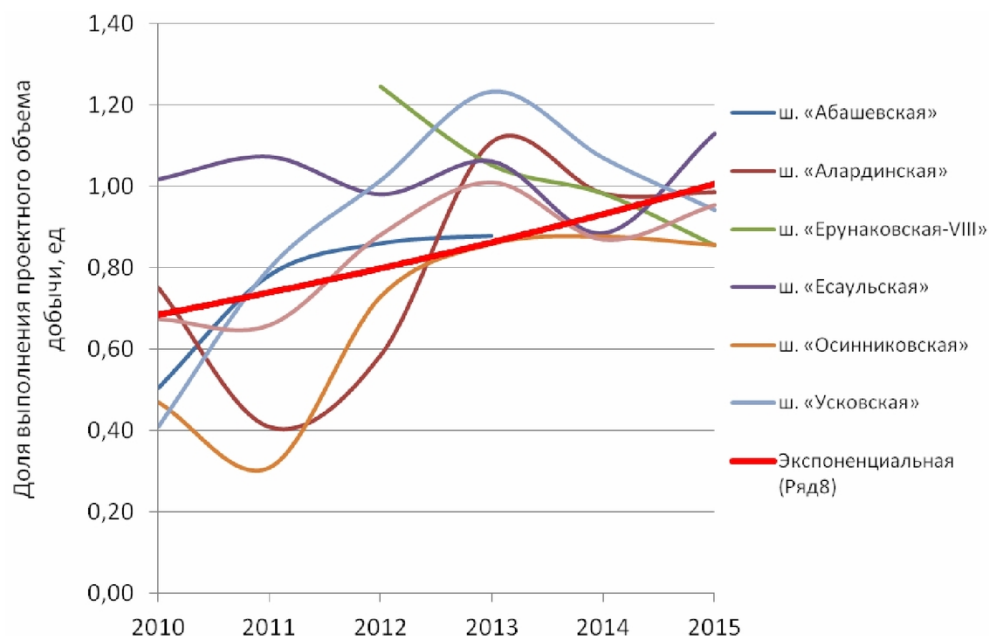


Рис.4 Зависимости отношения фактической и проектной добычи угля на угольных шахтах ООО «Распадская Угольная Компания»

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечёткой обстановке/ В.Б. Силов. - М.: ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.
2. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев [и др.]. - Кемерово: Кузбассвуиздат, 2008. – 487 с.
3. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление/ А. Пегат[пер. с англ.] – 2-е изд. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.
4. Нечёткая когнитивная модель угольной шахты / Агафонов В.В. - Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2013, №7. – с. 353-361.
5. Новый подход к синтезу технологических систем угольных шахт на основе нечёткого когнитивного моделирования / Агафонов В.В. - Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2013, №7. – с. 362-370.
6. Агафонов В.В. Разработка научно-методического обеспечения формирования стратегии устойчивого развития горнотехнических систем угольных шахт: автореф. дис. докт. техн. наук / В.В. Агафонов. - М.: Изд-во Московского государственного горного университета. – 2008. – 47с.
7. Советов Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.
8. Мельник В.В. Обоснование параметров геотехнологических систем шахт нового технического уровня / В.В. Мельник, Л.И. Шулятьева // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: МГГУ. - 2010. – Вып. № 8. – С. 229-233.
9. Вылегжанин В.Н. Адаптивное управление подземной технологией добычи угля /В.Н. Вылегжанин, Э.И. Витковский, В.П. Потапов. – Новосибирск: Наука, 1987. – 232 с.

## REFERENCES

1. Silov V.B. Strategic decision making in a fuzzy environment. Moscow: INPRO-RES, 1995. 228 p.
2. Emel'janov S.V., Korovin S.K., Myshljaev L.P. etc. Theory and practice of forecasting in control systems. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2008. 487 p.
3. Pegat A. Fuzzy modeling and control. Moscow: Binom. Laboratory of knowledge, 2013. – 798 p.
4. Fuzzy cognitive model coal mine / Agafonov V.V. Mining informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal), 2013, №7. – p. 353-361.
5. A new approach to the synthesis of technological systems of coal mines based on fuzzy cognitive modeling / Agafonov V.V. Mining informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal), 2013, №7. – p. 362-370.
6. Agafonov V.V. Development of scientific and methodological support of formation of strategy of sustainable development of mining systems in coal mines: abstract. dis. doctor. tech. Sciences / V.V. Agafonov. - M.: publishing house of Moscow state mining University. – 2008. – 47 p.
7. Sovetov B.Y. System Modeling / B.Y. Sovetov, S.A. Yakovlev. – M.: Higher school, 1998. – 319 p.
8. Melnik V.V. Substantiation of geotechnological parameters of systems of mines of a new technological level / V.V. Melnik, L.I. Shulyatieva // Mining information-analytical Bulletin. - M.: Moscow state mining University. - 2010. – Vol. No. 8. – p. 229-233.
9. Vylegzhanin, V.N. Adaptive control technology for underground coal mining /V.N. Vylegzhanin, I.E. Witkowski, V.P. Potapov. – Novosibirsk: Nauka, 1987. – 232 p.

Поступило в редакцию 12.10.2017

Received 12.10.2017