

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС», кафедра «Геотехнологии освоения недр» Горного
института



Якунчиков Евгений Николаевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ШАХТОСИСТЕМ (ГОРНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ – КЛАСТЕРОВ)**

Специальность 25.00.21 – «Теоретические основы проектирования
горнотехнических систем»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Агафонов Валерий Владимирович

Москва 2019

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В современных условиях функционирования угольной отрасли, которые характеризуются активным трансфертом высокопроизводительных угледобывающих технологий и горнодобывающей техники резко возросла роль повышения качества технологической подготовки горного производства, что напрямую связано с аспектами развития, трансформации и адаптации методологии проектирования высокопроизводительных и высокорентабельных угледобывающих предприятий. Данная постановка диктует необходимость проектирования угольных производств на основе принципа многофункциональности с привлечением экологически чистых угольных технологий.

Следует отметить, что формирование инновационных угольных производств-кластеров и, естественно, создание методологии их проектирования, диктуется как исчерпанными возможностями логистики, так и ограничениями финансовых инвестиций, возросшими требованиями в экологической и социально-экономической сферах и области промышленной безопасности.

Все вышеизложенное высокоактуализирует задачу создания методологии проектирования многофункциональных шахтосистем (горных производств-кластеров), обоснования их функциональной структуры и параметров, адаптированных к специфическим условиям среды функционирования, которая характеризуется наличием определенных рисков и неопределенности.

Степень проработанности проблемы. В основу современных представлений теории кластерного функционирования и развития положены работы и исследования А. Маршала, выявившего данный инновационный феномен развития промышленных предприятий. Тем не менее, исходя из объективных и субъективных предпосылок концептуально кластерный подход окончательно сформировался лишь в конце 1980-х гг. благодаря исследованиям М. Портера, Т. Андерссона, С. Рузенфельта, М. Энрайта, Х. Дебрессона и др. Различные стороны и задачи определения, классификации, спецификации и оценки производственно-хозяйственной деятельности различных кластеров отражены в трудах К. Кетельса, Э. Фезера, Э. Бергмана, Д. Солье, Ф. Рэйнса, и др. В период 1930-80-х гг. развитие получили теоретические и методологические основы кластерного подхода на базе трудов Н. Н. Колосовского, Ю. Г. Саушкина, И. В. Комара, М. К. Бермана и др. Отдельные вопросы промышленной интеграции и централизованной концентрации

промышленного производства в рамках отдельных отраслей постоянно находились в центре внимания следующих ученых: М. Бандмана, Б. Ашейма, В. Титова, В. Малова, А. Скотта и др. Особое внимание на выявление объективных условий и предпосылок, различных факторов формирования и развития промышленных кластеров в современных условиях уделено в исследованиях российских экономистов.: Л. И. Юзвовича, О. Н. Митрохиной, И. В. Мельмана, А. А. Кононова, И. О. Блинкова, Л. С. Маркова, В. М. Митасова, И. В. Егоровой, Г. Р. Хасаева, И. С. Ванежина, К. В. Екимова, Н. Н. Волковой, Т. В. Сахно М. В. Слипенчук и др.

Анализируя литературные источники, описывающие теоретические и практические исследования в области разработки методологии проектирования многофункциональных шахтосистем (кластеров), обоснования их функциональных структур и параметров можно отметить на данном этапе их немногочисленность и ограниченность. Среди них можно отметить труды таких ученых, как: Ремезов А.В., Агафонов В.В., Малкин А.С., Новоселов С.В., Харитонов В.Г., Заречнев А.Н., Стариков А.П., Петренко Е.В.

На базе проведенного анализа можно констатировать, что изучение процесса формирования функциональных структур и моделей стратегии функционирования промышленных кластеров, заявляющегося в форме ключевого фактора обеспечения должной конкурентоспособности и устойчивого социально-экономического развития отдельных отраслей, в том числе и угледобывающей, на данный момент развития экономики находится лишь в стадии становления.

Целью работы является разработка концептуальных методологических основ проектирования высокопроизводительных многофункциональных шахтосистем (горных производств-кластеров), обеспечивающих повышение эффективности и конкурентоспособности горного производства на угольной основе.

Идея работы заключается в комплексном использовании отдельных аспектов когнитивного моделирования, эвристического подхода, нечетких множеств второго порядка и теории принятия сложных решений для формирования функциональной структуры и обоснования основных параметров многофункциональных шахтосистем (горных производств-кластеров).

Объектом исследований являются угледобывающие предприятия (производственно-хозяйственные единицы), функционирующие в условиях

трансферта зарубежных технологий и техники угледобычи, трансформации пространственно-планировочных решений и социально-экономических требований к труду.

Предметом исследований являются тенденции и закономерности функционирования угледобывающих предприятий, отдельных аспектов научно-методической базы методологии проектирования, влияющих на создание, адаптацию и функционирование многофункциональных шахтосистем (горных производств-кластеров) с обоснованием их параметров.

Методы исследований. В работе задействован и реализован комплекс методов, включающий структурно-функциональный анализ теоретических и практических исследований в области проектирования горных производств, методы систем поддержки принятия проектных решений, методы теории нечетких множеств второго порядка, квалиметрии и теории принятия сложных решений, теории игр, методы экономико-математического и имитационного моделирования, многокритериальной оптимизации, теории графов и ряд других вспомогательного характера.

Основные задачи, которые позволяют реализовать единый алгоритм исследований, сводятся к следующим:

1. Обобщение и анализ современных тенденций и закономерностей технологических, технических, организационно-управленческих, промышленно-экологических аспектов функционирования шахтного фонда Российской Федерации, эволюционного развития и проблем проектирования предприятий подземной угледобычи, реализующих принципы повышения рентабельности и эффективности работы.
2. Обоснование и выбор прогрессивных экологически чистых угольных технологий, формирующих вспомогательные элементы функциональной структуры многофункциональных шахтосистем (горных производств-кластеров).
3. Обоснование и системное представление на базе использования отдельных аспектов когнитивного моделирования, теории нечетких множеств второго порядка, теории принятия сложных решений, когенерации и тригенерации альтернативных ресурсов горного производства концептуальных основ методологии проектирования многофункциональных шахтосистем (горных производств-кластеров) с использованием экологически чистых угольных технологий.

4. Разработка принципиальной модели современной производственной концепции повышения рентабельности подземной угледобычи, основанной на принципах преобразования исходного угольного сырья в товарную продукцию определенных видов и качественных характеристик с созданием цепочки добавленной стоимости.
5. Разработка научно-методических основ и принципов проектирования многофункциональных шахтосистем (горных производств-кластеров), характеризующихся высоким уровнем технико-экономической эффективности.
6. Разработка методики обоснования основных параметров базовых и вспомогательных элементов функциональных структур горных производств-кластеров.
7. Разработка практических рекомендаций по внедрению результатов исследований.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. В современных условиях функционирования угольной отрасли и проектирования угольных шахт для обеспечения должной конкурентоспособности актуализируется необходимость более интенсивного внедрения и участия в процессе угледобычи многофункциональных шахтосистем, как объективной предпосылки структурных преобразований в угольной сфере производства.
2. Концепция повышения эффективности угольного производства базируется на разработанных научно-методических положениях по проектированию, формированию, выбору и реализации функциональных структур многофункциональных шахтосистем с учетом когенерации и тригенерации нетрадиционных ресурсов горного производства и специфики угольной отрасли.
3. Методические положения формирования и синтеза базовых и вспомогательных элементов функциональной структуры многофункциональных шахтосистем предполагают наличие комбинированного подхода, основанного на использовании нечетких множеств второго порядка, системы поддержки проектных решений на основе когнитивного моделирования и методов теории принятия сложных решений.
4. Основополагающей предпосылкой формирования высокоэффективной организационно-экономической модели многофункциональной шахтосистемы является оптимальный уровень производственной мощности базового элемента (угольной шахты), увязанный со строго пропорциональными зависимостями

производственных мощностей вспомогательных производств, реализующих экологически чистые угольные технологии с должным уровнем синергического эффекта.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются анализом значительного объема репрезентативной статистической информации о тенденциях и закономерностях функционирования шахтного фонда РФ и перспективах его развития, теоретических и практических исследованиях в области создания методологии проектирования многофункциональных шахтосистем, наличием, корректной адаптацией и реализацией современных методов исследований (нечеткие множества второго порядка, система поддержки принятия проектных решений на основе когнитивного моделирования, теория принятия сложных решений и др.), соответствующей верификацией результатов исследований реальным проектным решениям в области угледобычи.

Новизна полученных результатов заключается в следующем:

- обоснованы актуальность, необходимость создания и адаптации методологии проектирования многофункциональных шахтосистем в логической цепи эволюции развития угольных производств;
- разработаны научно-методические принципы, положения и концепция формирования функциональной структуры многофункциональных шахтосистем, реализуемых при любых сочетаниях базовых и вспомогательных элементов на основе объективного учета горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации и поэтапности (стадийности) освоения георесурсного потенциала месторождений;
- разработана методика обоснования и оптимизации производственной мощности базового и вспомогательного элементов многофункциональных шахтосистем с различными типами составных моделей;
- разработана и обоснована цепь технологических преобразований угольной продукции в сопутствующие виды на базе современных экологически чистых угольных технологий;
- разработаны концептуальные основы структурно-функциональной модели многофункциональной шахтосистемы применительно к Апсатскому каменноугольному месторождению.

Научное значение диссертации заключается в разработке методологических основ проектирования многофункциональных шахтосистем на базе нечетких

множеств второго порядка, системы поддержки принятия проектных решений на основе когнитивного моделирования и теории принятия сложных решений.

Практическое значение диссертации заключается в разработке рекомендаций по реализации научно-методических положений при формировании и оптимизации функциональной структуры многофункциональных шахтосистем, оптимизации основных параметров и оценке качества проектных решений, разработке целенаправленной стратегии развития угледобывающих предприятий.

Реализация выводов и рекомендаций. Разработанная методика синтеза функциональной структуры и обоснования параметров многофункциональных шахтосистем, оптимизации производственной мощности базовых и вспомогательных подсистем, оценки качества проектных решений рекомендована к использованию в практике проектирования высокорентабельных производств подземной угледобычи и формирования программ развития горного производства угольных компаний и в учебном процессе ГИ НИТУ МИСиС при подготовке специалистов по специальности «Горное дело».

Апробация результатов работы. Основные научные положения и результаты исследований диссертации докладывались и получили одобрение на международных научных симпозиумах и конференциях в рамках «Недели горняка», проводимых в НИТУ МИСиС (Москва, 2017-2018гг.), «Подземная угледобыча 21 век» (Ленинск-Кузнецкий, 2018г.), VIII Международной научно-технической конференции "Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий" (Санкт-Петербург, 2017г.). Отдельные фрагменты исследований содержались в докладах на семинарах кафедры «Геотехнологии освоения недр» Горного института НИТУ МИСиС (Москва, 2017-2018 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 6 научных статей в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованной литературы из 107 наименований, содержит 29 таблиц и 62 рисунка.

Основное содержание работы

На сегодняшний день угольная промышленность России является наиболее динамично развивающейся отраслью отечественного ТЭК, - за последнее десятилетие объем производства угля в стране увеличился почти на четверть (для сравнения — прирост объемов добычи нефти за этот же период составил 12%, природного газа - 4%). В условиях благоприятной мировой конъюнктуры добыча угля в России в 2017 году выросла на 7,1% и поставила очередной постсоветский рекорд, перешагнув рубеж в 400.0 млн тонн. Экспорт угля увеличился на 9,2% и составил более 180.0 млн тонн. Среднемесячная производительность труда в угольной отрасли также достигла рекордных показателей. В среднем по отрасли она составила 327,7 т/чел., в том числе на шахтах — 216,5 т/чел., на разрезах — 417,3 т/чел. В 2017 году суммарный объем производственных мощностей по добыче достиг 435.0 млн т угля в год, в том числе по шахтам — 121,9 млн т, по разрезам — 313,1 млн тонн. С учетом объема добычи за 2017 год коэффициент использования мощностей составил 94%.

Количество несчастных случаев со смертельным исходом снижено на 67,8 %. Смертельный травматизм в 2017 году составил 18 несчастных случаев (в 2016 году — 56). В 2017 году удельный показатель смертельного травматизма составил — 0,044 чел/млн т.

Более половины добываемого в России угля (58%) обеспечивают пять крупнейших угледобывающих компаний: СУЭК, «Кузбассразрезуголь», «СДС-Уголь», «Мечел», ЕВРАЗ. Заметный вклад в добычу вносят «Русский уголь», «Востсибуголь», «Кузбасская топливная компания», «Сибуглемет», «Воркутауголь» и другие компании. Сегодня в своем развитии российская угольная промышленность все больше ориентируется на торговые отношения с Китаем и другими странами АТР, демонстрирующими значительный рост спроса на уголь.

Стоит отметить, что наряду с достигнутыми успехами, в настоящий период недропользования у угольной отрасли РФ есть множество всесторонних проблем различного характера.

Одной из главных проблем является отсутствие тенденции роста потребления угольной продукции на внутреннем рынке вследствие вытеснения угля газовой составляющей, хотя в Сибири и на Дальнем Востоке углем стабильно обеспечивается до 50% генерации электроэнергии и тепла. Конъюнктура угольных рынков, а соответственно и цен на угольную

продукцию претерпевает в последнее время значительные изменения, - это предопределяет наличие постоянных рисков, что присуще и мировой угольной отрасли в целом. Второй традиционной проблемой являются так называемые стратегические инфраструктурные ограничения, которые ассоциируются с явной недостаточностью развитости сети железных дорог и морских терминалов, что в конечном итоге приводит к формированию длинного «плеча» перевозок, и как следствие, больших логистических издержек. Остры и актуальны и экологические проблемы угольной отрасли, а также отдельные аспекты промышленной безопасности и охраны труда (показатели смертности на миллион тонн добытого угля во временном тренде 2010-2017 гг. больше американского показателя в 12,7 раза, южноафриканского — в 4,5 раза).

Главной проблемой функционирования российской угольной отрасли является элемент финансовой неустойчивости. Все основные ресурсные составляющие для добычи угля растут в цене, а реальные возможности по привлечению заемных финансовых в отрасль средств имеют сильную составляющую ограничения. Не менее важной проблемой является снижение технологичности отработки запасов, что напрямую связано с увеличением глубины ведения горных работ. Увеличивается газообильность предприятий, возрастает водоприток, возникают определенные сложности в области управления массивом горных пород и горным давлением, с проведением и поддержанием горных выработок и т.д. В целом, все рассмотренные проблемные характерные особенности и аспекты современного состояния технологических систем угольных шахт, безусловно, не вносят положительную составляющую при формировании технико-экономической эффективности шахтного фонда страны.

Приоритеты развития угледобычи в Российской Федерации определены и заложены в Энергетической стратегии России на период до 2035 года с оценкой перспектив развития энергетики на период до 2050 г., при этом сохраняются неизменными цели и главные принципы государственной энергетической политики.

Технологический уклад отработки запасов угольных месторождений с учетом тенденций развития научно-технического прогресса претерпел в угольной отрасли в последнее время довольно значительные изменения. Детальный анализ гипотез деления угольных шахт на ранжированные группы, сформированных в последнее время ведущими учеными с определенными характерными основными параметрами и результатами производственно-

хозяйственной деятельности позволил выделить следующие характерные группы:

- шахты, характеризующиеся старым технологическим уровнем на базе «периферийных» технологий угледобычи;
- шахты, характеризующиеся новым технологическим уровнем на базе «развивающихся» высокоэффективных технологий угледобычи;
- шахты с супердинамическими системами на базе высокоэффективных и интенсивных технологий угледобычи;
- шахты с высокоэффективными технологическими системами на базе высокоинтенсивных и инновационных технологий угледобычи;
- угольный кластер (многофункциональная шахтосистема) на базе высокоинтенсивных, инновационных и «прорывных» технологий угледобычи.

В ближайшей перспективе, как уже не раз отмечалось выше, в том числе и в директивных документах, просматривается явная тенденция расширения многофункциональности технологических систем шахт в форме создания дополнительных производств по переработке угольной продукции: углеэнергетика, углехимия, углегазоэнергетическое производство, коксохимия, когенерация и тригенерация и т.д.

Создание увязанных в единый технологический процесс многопродуктовых инновационных углетехнологий, а в конечном итоге, угледобывающих предприятий, оснащенных вышеобозначенными технологиями, безусловно будет направлено на более полное, рациональное и высокоэффективное использование угольной массы, - данная тенденция была предопределена появлением в то или иное время различных углетехнологий, которые были вовремя востребованы угольным рынком с учетом различных аспектов развития научно-технического прогресса в отрасли. При этом, основной проблемой проектирования угольных кластеров (многофункциональных шахтосистем) является взаимоувязка разобщенных и разнородных по своей сути технологий в единую интеграционную цепочку. При этом в качестве ограничения в обязательном порядке должна учитываться своя специфика развития и обновления технологических систем угольных шахт с учетом влияния основных природных (комплекс горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации) и производственно-индустриальных факторов (функциональная структура шахтного фонда, современный уровень технической оснащенности технологии угледобычи, организации и управления

производственно-хозяйственной деятельностью угледобывающих предприятий).

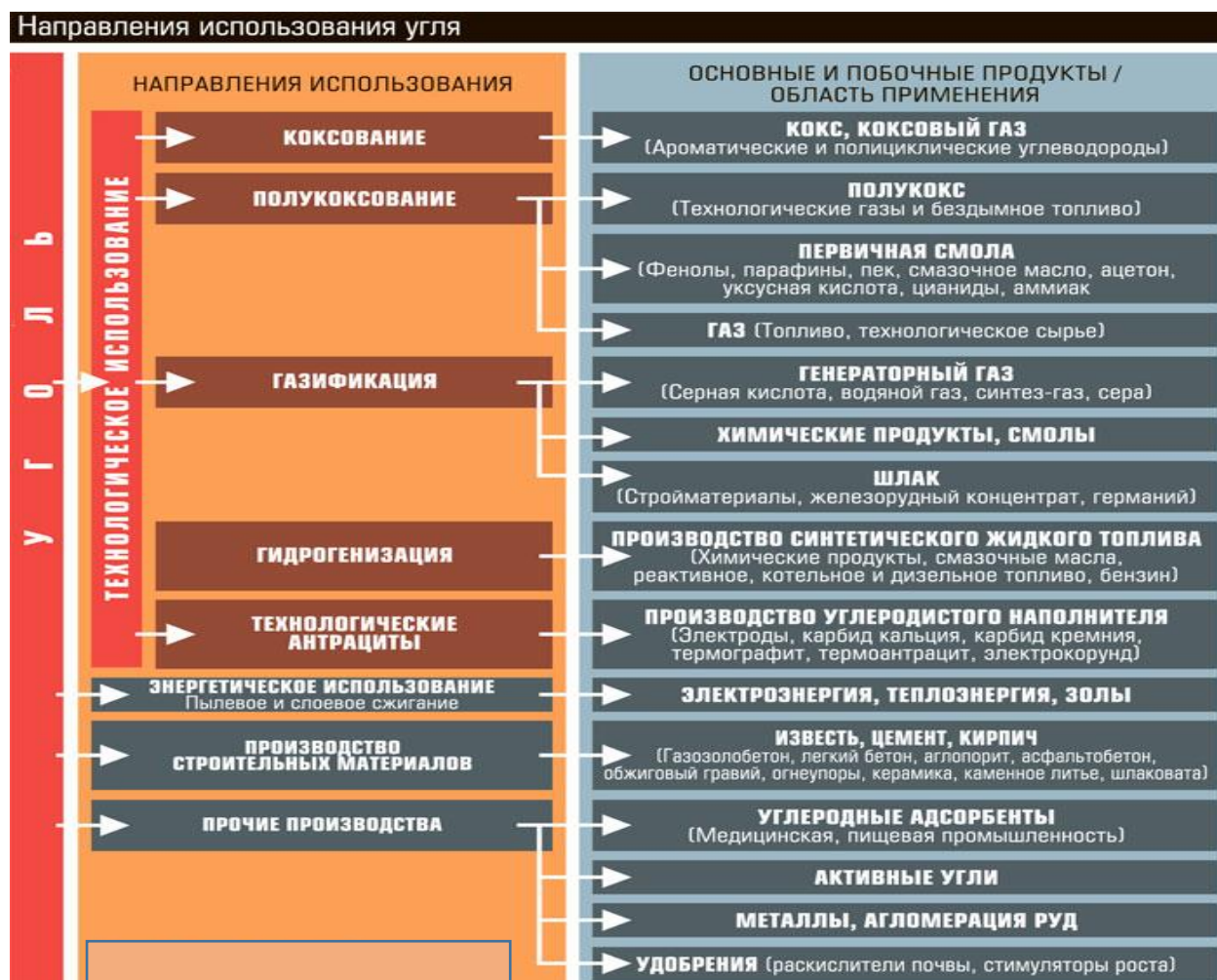
Ввиду смены технологических и экономических парадигм современного недропользования, при проектировании угледобывающих предприятий возникает необходимость рассматривать отработку запасов угольного месторождения с системной точки зрения, в основе которой лежит постулат получения максимальной прибыли, которая формируется с учетом всех возможных форм производственно-хозяйственной деятельности на базе унификации и диверсификации угольного производства, создавая полностью наполненную технологическую цепочку с элементами добавленной стоимости. Данный постулат в своей основе имеет базовое системное понятие – *получение синергического эффекта*.

Анализ функциональной части кластерных проектов, выполненных в последнее время показал, что основополагающие принципы проектирования угледобывающих предприятий в обязательном порядке должны быть увязаны с инновационной составляющей и учитывать фактор регионализации угольной продукции, технологического развития и кластерным подходом, который подразумевает в своей основе концентрацию сопутствующих производств и выпуск довольно широкого спектра продукции на угольной основе с формированием цепочки высокой добавленной стоимости.

Данный подход диктует необходимость присутствия отличия проектируемых современных угольных шахт от ранее предшествующих аналогов, что включает в себя необходимость присутствия многофункциональной технологии (самоокупаемая производственно-рыночная единица – условно-замкнутый цикл добычи – переработки – потребления – реализации). Проект включает в себя ряд производств, обеспечивающих дополнительную прибыль, и частичное (или полное) самообеспечение энергией, теплом и холодом. Следует заметить, что на создание таких высокоэффективных шахтосистем, требуются значительные начальные инвестиции, что, в свою очередь, предопределяет значительный срок строительства (5-10 лет), но при этом основным положительным моментом реализации таких проектов становится минимальный срок окупаемости при освоении проектной мощности. Конкретика современных шахтосистем может быть представлена следующими **основными технологическими группами вспомогательных производств: обогащением, углехимическим производством, производством различных видов энергии из угля**

(когенерация и тригенерация), добычей метана из шахтных пластов с последующей его переработкой и использованием, которые перечислены в таблице 1.

Таблица 1 – Современные направления переработки угольной продукции



Обоснование, выбор и оптимизация функциональных структур многофункциональных шахтосистем имеет ряд специфических аспектов, которые необходимо учитывать при процедуре оптимизации. Во-первых, технологические системы многофункциональных шахтосистем отличаются многооперационностью и взаимосвязанностью функционирования подсистем, входящих в нее, поэтому все происходящее внутри системы необходимо рассматривать с позиций *системного и комплексного подходов*. Во-вторых, как правило, отсутствует полная и достоверная информация о динамике происходящих рабочих операций и процессов, что в конечном итоге формирует стохастическую степень неопределенности и риска при осуществлении производственно-хозяйственной деятельности., что связано в основном с

нестационарностью самих процессов и сложными законами распределения функциональных характеристик.

Вышеизложенное диктует необходимость учета аспекта рассмотрения и обеспечения устойчивого функционирования и развития функциональных структур многофункциональных шахтосистем – ***sustainable development***. Наиболее подходящее формальное определение устойчивости применительно к технологическим системам многофункциональных шахтосистем можно формализовать в следующей интерпретации: «устойчивость – это способность системы функционировать в состояниях, близких к равновесным, в условиях постоянных внешних и внутренних возмущающих воздействий». В результате проведенного анализа выявлены наборы методов, позволяющих решить задачи описания устойчивого технолого-экономического развития системы, диагноза состояния, оценки финансовых и инвестиционных ресурсов, развития производственной сферы, что позволило сформировать укрупненную классификацию методов моделирования (рис.1).

Данная классификация позволяет рассмотреть последовательность реализации методов на разных стадиях изучения технологической системы и этапах принятия решений; она отображает взаимосвязь и взаимовлияние методов. Анализ подходов формирования устойчивых функциональных структур в условиях слабоструктурированных проблем сложных технологических систем, к которым с полным основанием можно отнести и многофункциональные шахтосистемы показал, что наиболее приемлемым является когнитивный подход, который на протяжении длительного промежутка времени успешно и целенаправленно развивается в Институте проблем управления РАН. Процесс моделирования и основные итерации формирования устойчивой функциональной структуры технологических систем с позиций когнитивного подхода формально описывается следующим укрупненным алгоритмом (рис.2). При этом подразумевается, что основной целью когнитивного моделирования является генерация и проверка гипотез о формировании устойчивой функциональной структуры многофункциональных шахтосистем в современных экономических условиях функционирования и конъюнктуры рынка сбыта угля.

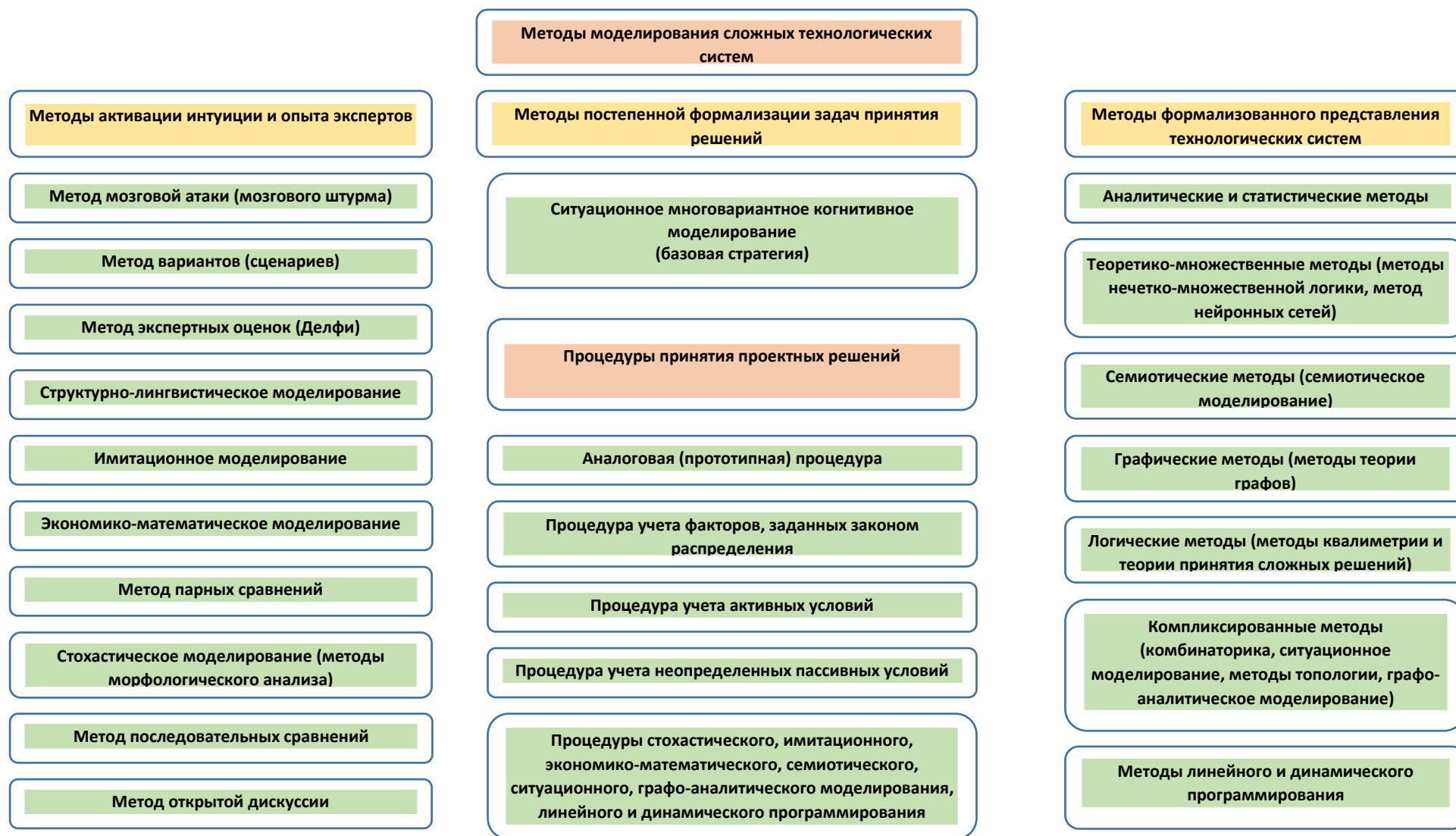


Рис. 1 – Классификация методов устойчивого развития технологической системы с использованием системного анализа (научно-методическое обеспечение обоснования проектных решений многофункциональных шахтосистем (кластеров))

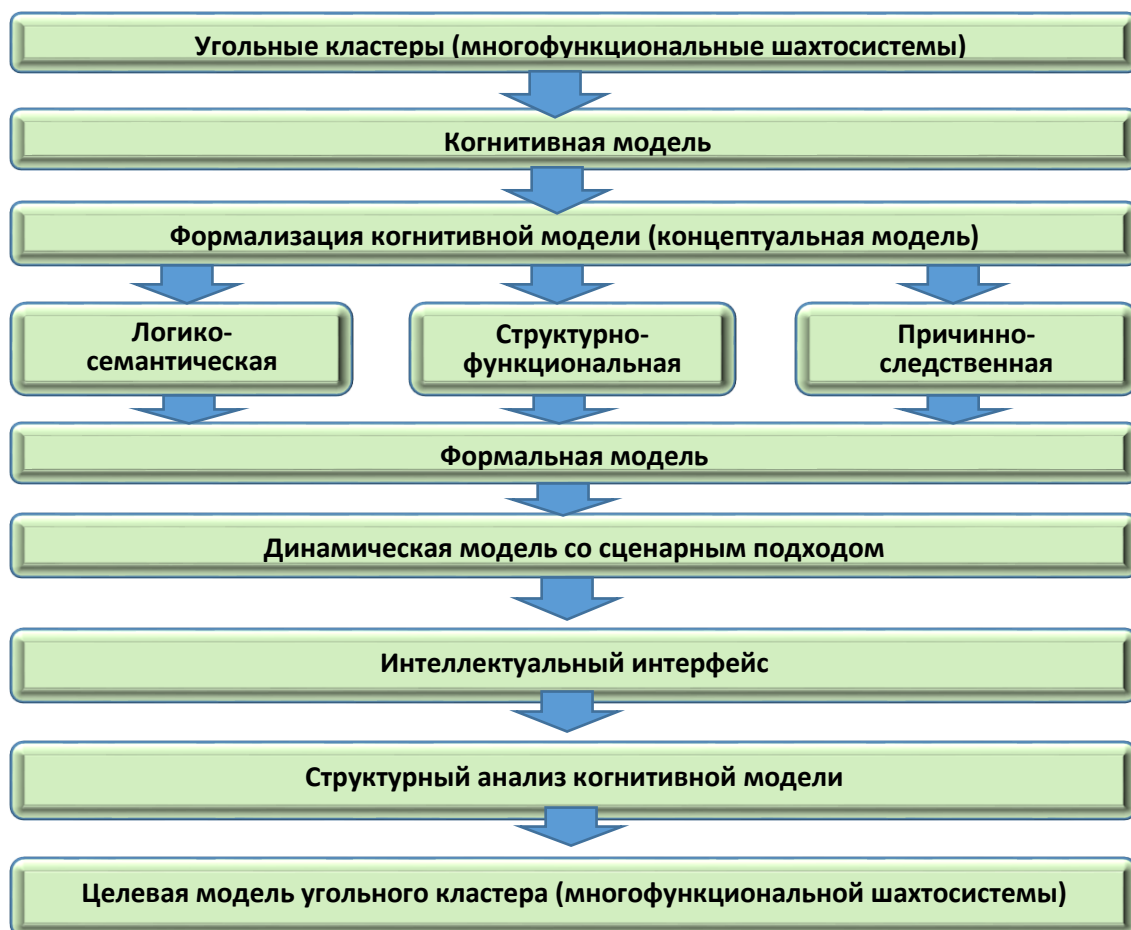


Рис. 2 - Процесс моделирования устойчивой функциональной структуры многофункциональных шахтосистем с позиций когнитивного подхода

Главная особенность предлагаемого в данной работе подхода, основанного на когнитивном моделировании, в отличие от остальных, заключается в том, что логический и математический аппарат данного подхода позволяет сформировать формализованную модель, которая в строгой увязке с пространственно-временными факторами объединит в одно целое различные функциональные структуры угледобычи и перерабатывающих предприятий многофункциональных шахтосистем и позволит построить ретроспективный количественный и качественный прогноз функционирования и развития с учетом сопутствующих неопределенности и рисков.

Важно отметить, что существует интеграция нечетких и нейронных сетей с теоретической эквивалентностью среди представленных моделей во множестве когнитивных карт типа CM, FCMs и sDCNs, что позволяет с достаточной степенью надежности, объективности и достоверности интерпретировать полученные результаты, что обеспечивает должный

уровень робастности. Примеры структур нечеткой когнитивной карты при использовании данной концепции приведены на рис. 3, 4, 5.

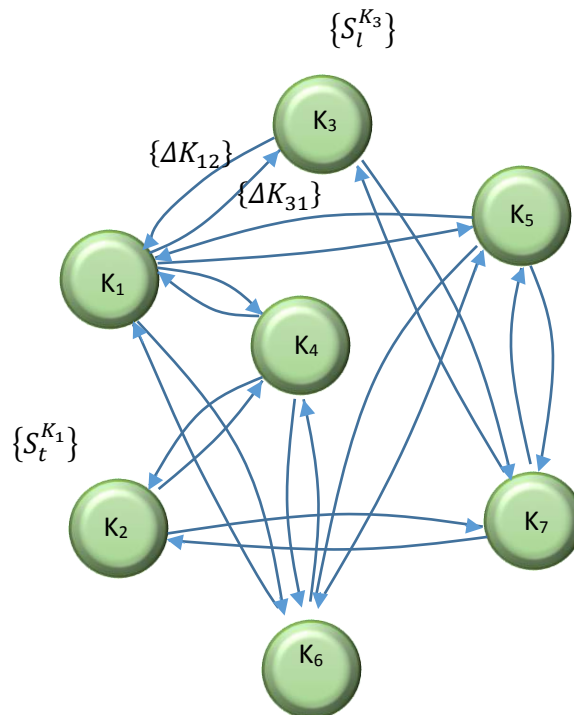


Рис. 3 - Пример структуры нечеткой когнитивной карты для анализа взаимодействий в функциональной структуре многофункциональной шахтосистемы

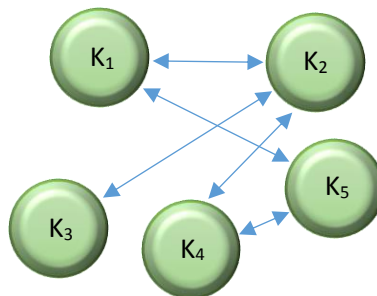


Рис. 4 - Структура исходной нечеткой когнитивной модели

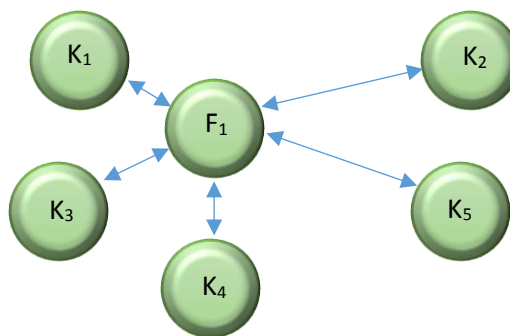


Рис. 5 - Структура нечеткой когнитивной модели с функциональной структурой

Процесс моделирования функциональной структуры проводится с помощью итераций, которые называют импульсными возмущениями. В начальном этапе произвольно одной из вершин задается импульс (возмущение), который с определенной степенью усиления или затухания формирует процедуру изменения количественной величины других показателей всех остальных вершин по причинно-следственной цепочке. Количественные значения показателей в вершинах графовой модели итерационно видоизменяются через шаг имитации t .

Для осуществления процедуры импульсного моделирования одной из актуализированных вершин орграфа (интегральный концепт) задается количественное изменение. Данное действие, в свою очередь, актуализирует связанную в большей или меньшей степени систему вершин. Модель импульсных процессов представляется в наиболее удобном матричном виде. Главной сложностью при этом является анализ устойчивости функциональной структуры технологической системы, которая моделируется при помощи взвешенного ориентированного графа, что в описательном плане требует использования специфически выстроенного математического аппарата.

Анализ методов нивелирования влияния степени неопределенности показал, что наиболее приемлемым является следующий: - вес над дугой и степень значимости вершины формализуются нечеткими интервалами, которые предполагают наличие функции принадлежности и сравнение нечетких интервалов. Данный подход обозначает, что характеристические значения матрицы отношений взвешенного ориентированного графа, формально представляющего когнитивную модель многофункциональной шахтосистемы представляют степень его устойчивости при соблюдении условия устойчивости всех его вершин к возмущению. Также вышеобозначенный подход диктует необходимость рассматривать функциональные структуры технологических подсистем, «близких» к эталонным, при этом технологическая система структурно и функционально устойчива, если пространственно-планировочный характер функциональных траекторий близок к эталонной. Резюмируя вышеизложенное, следует констатировать, что вышеописанный концептуальный когнитивный подход к исследованию угледобывающего предприятия как технолого-экономической системы позволяет формально описать ее функциональную структуру и на этой основе обосновать необходимые проектные решения условно-

оптимальной технолого-экономической многофункциональной шахтосистемы. На когнитивной карте при этом отображаются основные группы факторов и взаимосвязи, возникающие при устойчивом технолого-экономическом развитии данной системы.

Данный подход согласно теории игр заключается в следующем:

- осуществляется перебор основных технологических подсистем многофункциональных шахтосистем с точки зрения продукционных правил выбора функциональной структуры. При этом превалирующей является максимизация общего выигрыша всех технологических подсистем функциональной структуры многофункциональной шахтосистемы, а не максимальный выигрыш функциональной структуры;

- в алгоритм вводятся дополнительные влияния выбора стратегии, которые формально уравнивают выигрыш всех технологических подсистем функциональной структуры. Данный подход регламентирует выбор стратегии формирования функциональной структуры многофункциональной шахтосистемы с позиций получения максимального выигрыша. Ущерб функциональной структуры будет компенсирован при этом распределением между технологическими подсистемами дополнительного выигрыша функциональной структуры многофункциональной шахтосистемы.

На рис. 6 представлена структура когнитивной карты с нечеткими функциональными структурами. На нем представлены 7 подсистем и 3 функциональные структуры.

Вводим степени принадлежности технологических подсистем к функциональным структурам, что позволяет учесть разную степень участия в разных функциональных структурах и в сфере разных экономических интересов подсистем. Уровень участия равен 1, если подсистема целиком состоит в нечеткой функциональной структуре и нулю, если подсистема целиком не состоит в ней. Рассматривая дополнительные частные случаи реализации данного алгоритма приходим к полному описанию нечеткой когнитивной модели для формирования функциональных структур многофункциональных шахтосистем.

В целом основная задача проектирования многофункциональных шахтосистем (кластеров) определяется: выбором оптимальной компоновки и состава технологической цепи добычи и переработки угля в различные виды продукции, результатом которых будет целевой уровень эффективности функционирования шахтосистемы, который можно оценить при помощи

комплекса показателей: производственная мощность многофункциональной шахтосистемы, количество угля (ресурса) на производство единицы продукции по технологии, материалоемкость продукции, капиталоемкость продукции, трудоемкость, зарплатоемкость, энергоемкость, себестоимость, технологический к.п.д., объем инвестиций для строительства, прибыль, срок окупаемости, индекс доходности, внутренняя норма доходности, чистый дисконтированный доход и т.д.

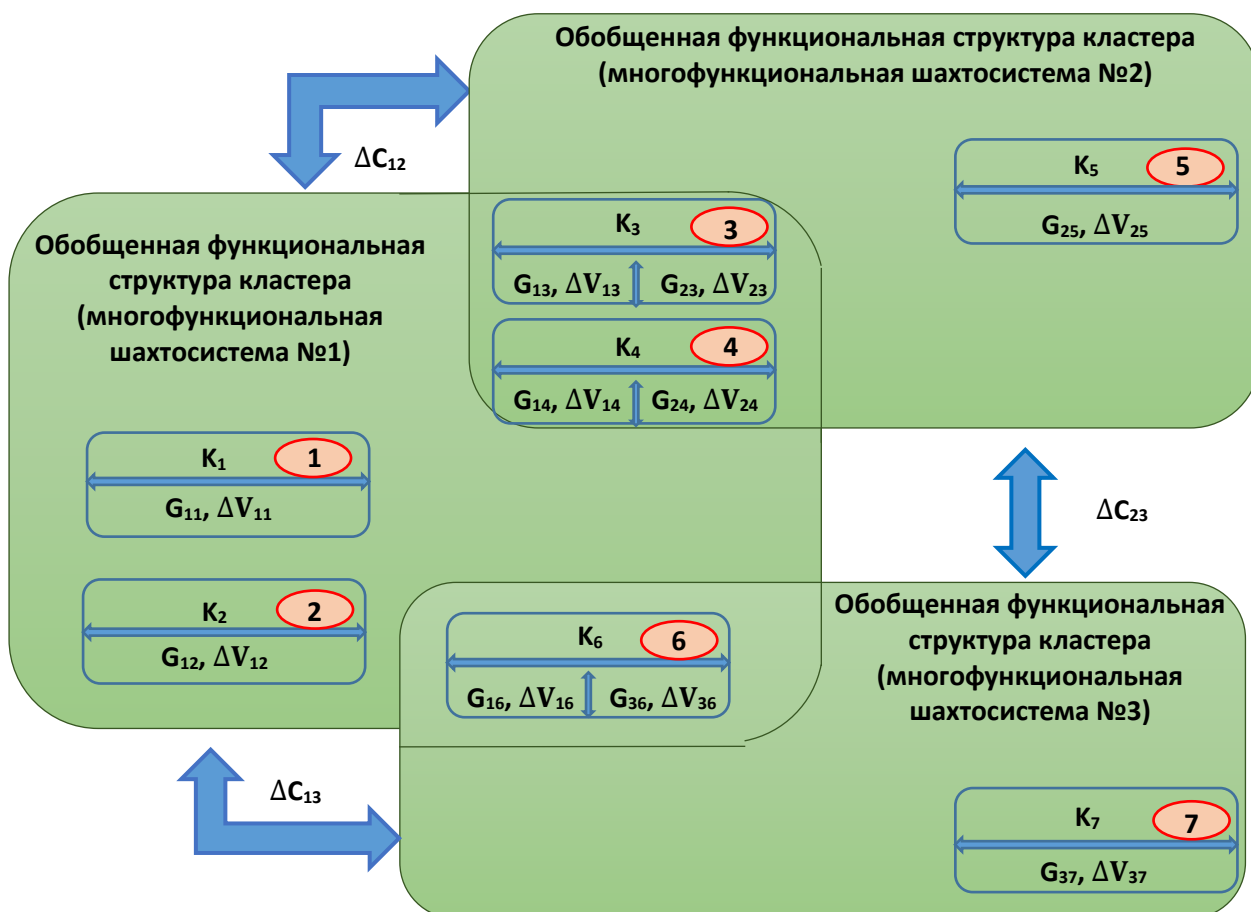


Рис. 6 – Когнитивная карта с нечёткими функциональными структурами многофункциональных шахтосистем

(1-технологии углехимии; 2- технологии переработки метана; 3- технологии коксохимии; 4- технологии когенерации и тригенерации; 5- технологии переработки техногенных отходов; 6-технологии гидрогенезации; 7-углегазоэлектрический комплекс; К-множество подсистем; ΔC - выигрыш функциональной структуры; G- степень принадлежности подсистемы (определённой технологии) к определённой функциональной структуре; ΔV - множество переменных, характеризующих уровень участия (выигрыша) определённой подсистемы в функциональной структуре

Следует отметить, что когнитивное моделирование, реализованное на когнитивной карте, характеризующей устойчивое технологическое-экономическое

развитие угольных кластеров позволяет в режиме реального времени выделять и анализировать все возможные сценарии «пессимистического» и «оптимистического» характера, присущие устойчивому развитию.

В качестве конкретного объекта исследований выбрано Апсатское каменноугольное месторождение. Следует отметить, что за последнее десятилетие над парадигмой и технологическим укладом отработки запасов Апсатского каменноугольного месторождения работали ведущие отечественные научные и проектные институты, а также мировые консалтинговые агентства. В качестве основополагающих разработок можно отметить «ТЭР освоения лицензионного участка Апсатского каменноугольного месторождения», выполненного ОАО «Гипрошахт» в 2012 г, проектные проработки и моделирование разработки Апсатского угольного месторождения, выполненные ЗАО «Голдер Консалтинг» в 2013 г., «ТЭП и проектные проработки отработки запасов Апсатского каменноугольного месторождения», выполненные МГИ-МГГУ в 2010 г., действующая проектная документация и скорректированная «Увеличение производственной мощности разреза Апсатский» до 3.0 млн тонн угля в год», выполненная ООО «СибГеоПроект» в 2015 г. , «Основные технические решения по оптимизации отработки запасов Апсатского месторождения каменного угля ООО «Спб-Гипрошахт», выполненных в 2018 г.

В результате анализа этих проектных проработок выявлена низкая технико-экономическая эффективность реализации данных проектов: низкий уровень внутренней нормы рентабельности (8-12%), длительные дисконтированные сроки окупаемости капитальных вложений (16-20лет), низкий индекс доходности (3-5%) и довольно низкий коэффициент извлечения запасов, что создает предпосылки для поиска новых нетрадиционных решений по повышению технико-экономической эффективности отработки запасов Апсатского каменноугольного месторождения.

В данной работе вышерассмотренные недостатки будут устраняться путем проектирования многофункциональной шахтосистемы (кластера) отработки запасов и реализации открыто-подземного способа. Основной экономический эффект и повышение эффективности отработки запасов будут получены и реализованы за счет формирования цепочки добавленной стоимости в результате создания дополнительных перерабатывающих производств и переработки угольной продукции на месте добычи.

На основании вышеизложенного определен следующий перечень концептов процесса образования компонентных структур в многофункциональной шахтосистеме отработки запасов Апсатского месторождения

$$K = \{ K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8 \}, \quad (1)$$

где K_1 - возможность достижения глобальной цели (построение функциональной структуры многофункциональной шахтосистемы (кластера) отработки запасов Апсатского месторождения); K_2 - образование отдельной компоненты (отдельного углеперерабатывающего производства); K_3 - возможность достижения локальной цели (образование отдельной составляющей функциональной структуры многофункциональной шахтосистемы (кластера) отработки запасов Апсатского месторождения); K_4 - возможность устранения неопределенности при формировании функциональной структуры; K_5 - устойчивость функционирования многофункциональной шахтосистемы; K_6 - степень достижимости всех локальных целей (всех углеперерабатывающих производств); K_7 - возможность образования компоненты; K_8 - компонента не образована; K_9 - возможность недостижения локальной цели; K_{10} - невозможность устранения неопределенности (рис.7).

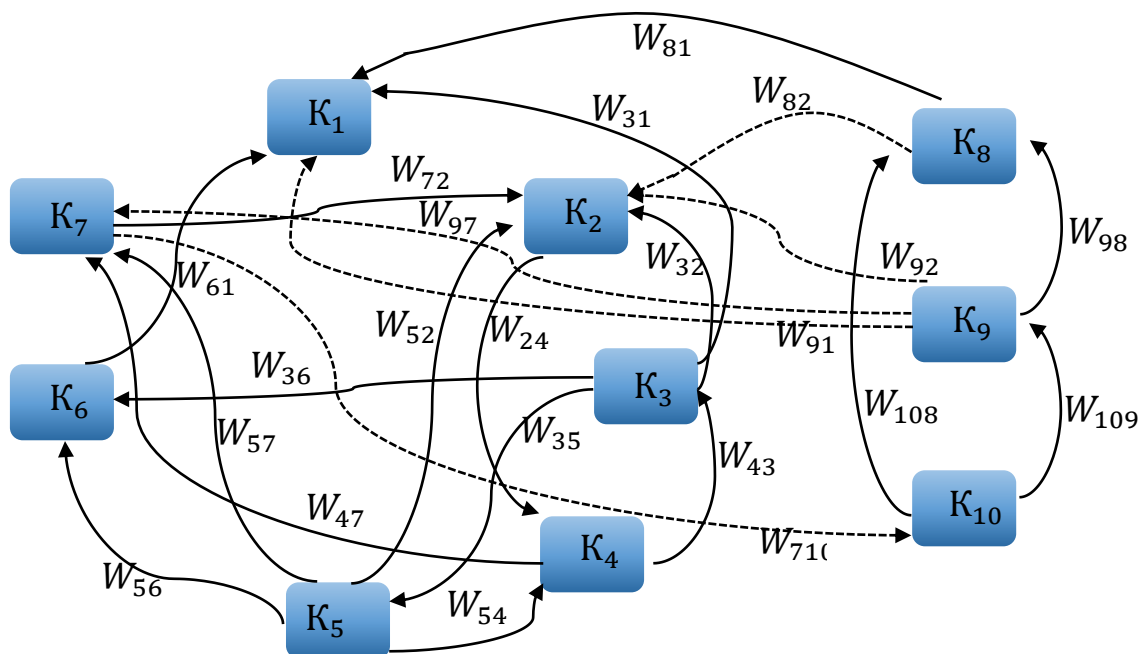


Рис. 7 - Нечеткая когнитивная карта процесса образования многофункциональной шахтосистемы

Выделенное множество концептов позволило построить НКК рассматриваемого процесса (рис.8, - положительные связи показаны сплошными линиями со знаком +, а отрицательные - со знаком -).

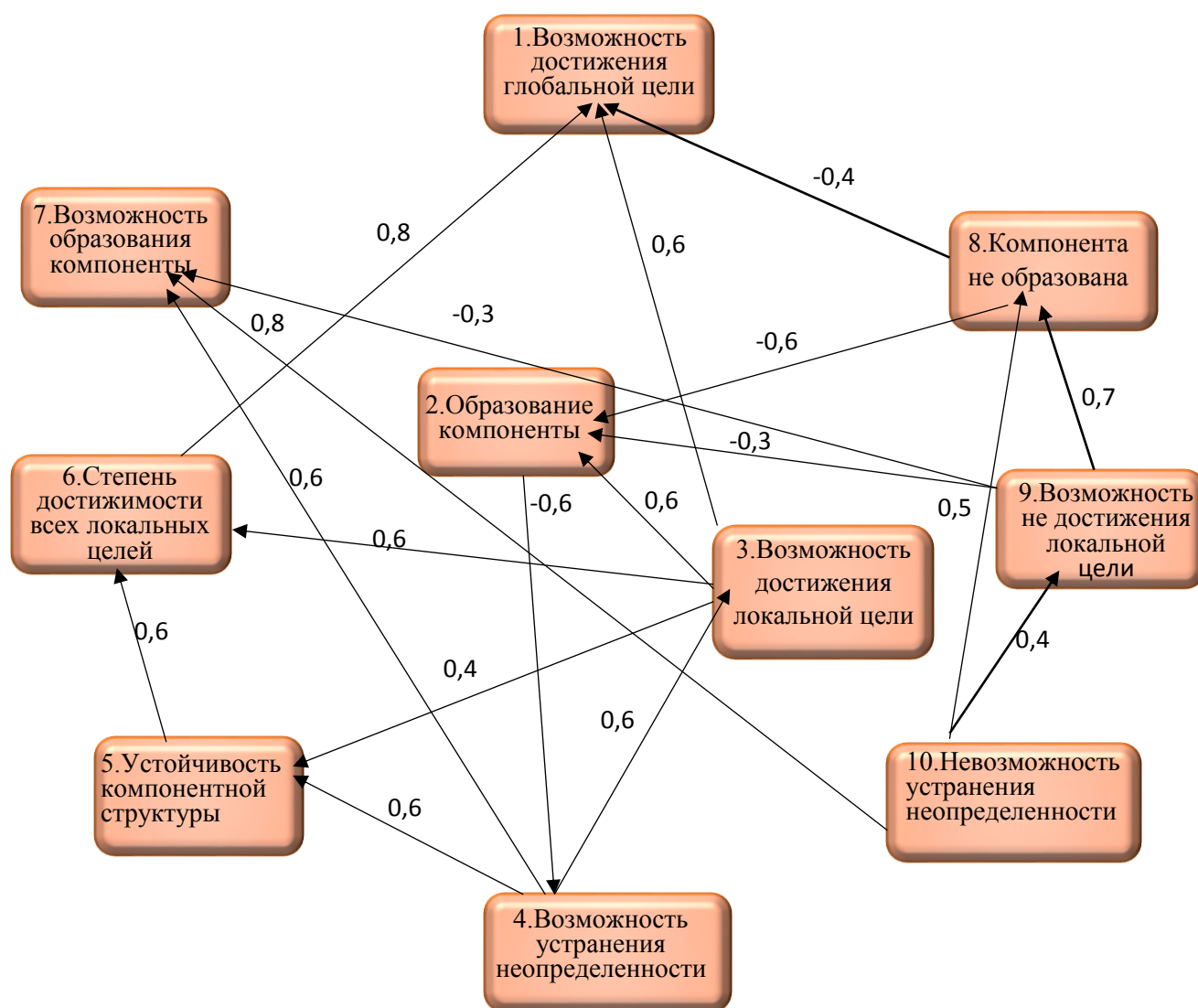


Рис.8 - Нечеткая когнитивная карта

С учетом вышеизложенных исследований и формализации поставленной задачи конечные результаты моделирования функциональной структуры кластера по отработке запасов Апсатского месторождения сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты моделирования и оценки влияния элементов многофункциональной шахтосистемы Апсатского месторождения на рентабельность производства

Наименования концептов	Интенсивность влияния импульса концепта на рентабельность производства	Значение импульса при нулевой рентабельности
Технологии углехимии	1.2	0.38
Технологии переработки метана	0.8	0.42
Технологии коксохимии	2.2	-0.21
Технологии когенерации и тригенерации	0.6	0.46
Технологии переработки техногенных отходов	2.0	-0.23
Технологии гидрогенезации	3.2	-0.016
Технологии обогащения	0.3	0.52
Технологии углегазоэлектрического комплекса (ЛУГЭК)	2.8	-0.11

Согласно таблице, основными элементами, оказывающими негативное влияние на формирование рентабельности многофункциональной шахтосистемы Апсатского месторождения являются технологии коксохимии, технологии переработки техногенных отходов, технологии углегазоэлектрического комплекса (ЛУГЭК). Таким образом, в состав функциональной структуры многофункциональной шахтосистемы (кластера) Апсатского месторождения рационально включить следующие составляющие: технологии углехимии, технологии переработки метана, технологии когенерации и тригенерации и технологии углеобогащения.

В качестве основных вариантов базовой составляющей кластера рассматривались следующие:

Вариант 1 – отработка запасов месторождения открытыми горными работами с обогащением всей добытой горной массы на обогатительной фабрике;

Вариант 2 – отработка запасов пласта С₂ подземным способом с обогащением всей добытой горной массы на обогатительной фабрике;

Вариант 3 – комплексная отработка запасов Апсатского месторождения (подземным и открытым способом) с обогащением всей добытой горной массы на обогатительной фабрике.

Основные показатели, характеризующие эффективность вложения инвестиций по вариантам представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Показатели эффективности вложения инвестиций по вариантам отработки запасов Апсатского каменноугольного месторождения

Показатели	Ед.изм.	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Чистый дисконтированный доход				
- при ставке дисконтирования 0%	млн.руб.	56 071	12 104	104084
- при ставке дисконтирования 10%	- " -	17 522	3 782	53924
Индекс рентабельности				
- при ставке дисконтирования 0%	доли ед.	12,3	3,0	33,3
- при ставке дисконтирования 10%	- " -	7,6	1,7	22,6
Внутренняя норма доходности	%	30,7	17,3	64,3
Срок окупаемости капитальных вложений				
- при ставке дисконтирования 0%	лет	4,7	13,0	2,5
- при ставке дисконтирования 10%	- " -	5,7	16,3	4,2

Для оценки эффективности инвестиций по вариантам была привлечена методика, основанная на сопоставлении притоков и оттоков денежных средств по видам деятельности, осуществляемой в результате реализации представленных инвестиционных проектов. Для обоснования коммерческой эффективности применен динамический метод оценки, учитывающий фактор времени. Расчет дисконтированных денежных потоков осуществлен по ставкам дисконта 0% и 10%.

Результаты расчетов показывают, что при принятых условиях и ценах отработка запасов на участке открытых работ может являться высокорентабельной (срок окупаемости 4,7 лет).

Строительство шахты совместно с ОФ (вариант 2) несмотря на длительные сроки окупаемости позволяет получить положительные экономические результаты. Однако этот вариант наименее стабилен и наиболее подвержен влиянию рисков.

Комплексное освоение Апсатского месторождения (вариант 3) является наиболее рациональным с точки зрения полноты использования недр, так как отработка максимального объема запасов остается экономически эффективной и целесообразной. В случае же полного обогащения всей горной массы и переработки в дополнительные виды продукции на основе технологий углехимии, переработки метана и когенерации данный вариант обеспечивает и наибольший экономический результат.

Для оптимизации параметров синтезированной функциональной структуры кластера по отработке запасов Апсатского каменноугольного месторождения использовалась технология решения оптимизационных задач с помощью надстройки **поиск решения** в среде Excel.

Результаты оптимизации набора вспомогательных производств угольного кластера «Апсатский» (фрагмент электронной таблицы Excel оптимизационной задачи) представлены в таблице 4. Согласно проведенной выше оптимизации необходимо проектировать многофункциональную шахтосистему со следующими параметрами: капиталоемкостью 1155,8\$/т.у.т., и с производительностью 2950т.у.т./час.

Таблица 4 – Фрагмент электронной таблицы Excel

Объем добычи угля, т.у.т./час	33
Выпуск концентрата, т.у.т./час	18
Добыча и переработка метана, т.у.т./час	10
Выпуск продукции углехимии, т.у.т./час	1100
Выпуск продуктов когенерации (тепловая и электрическая энергия), т.у.т./час	20
Капиталоемкость производства, \$/тонн	1155.8
Производительность производства, т.у.т./час	2950
Рентабельность производства, %	291.6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выходная формула работы представлена в следующем изложении: - диссертация является научно-квалификационной работой, в которой в авторском изложении представлены методологические и методические положения проектирования многофункциональных шахтосистем (кластеров) на базе когнитивного подхода, имеющих важное значение для развития теоретических основ проектирования угледобывающих предприятий на современном уровне технологического уклада в угольной отрасли.

Основные научные и практические результаты работы, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. В результате анализа состояния угольной отрасли РФ выявлено, что для того, чтобы обеспечить должную конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность на рынке угольной продукции, уже к 2020 г. необходимо реализовать ряд крупномасштабных инновационных проектов с целью увеличения темпов прироста производительности труда в отрасли не менее, чем в 3-5 раз. В связи с этим актуализируется необходимость более интенсивного внедрения и участия в процессе угледобычи многофункциональных шахтосистем, как объективной предпосылки структурных преобразований в угольной сфере производства. При этом проектирование инновационных угольных производств-кластеров и, естественно, создание методологии их проектирования, диктуется как исчерпанными возможностями логистики, ограничениями финансовых инвестиций, возросшими требованиями в экологической и социально-экономической сферах и области промышленной безопасности.

2. Установлено и показано, что теоретической основой методологического научно-методического обеспечения концепции обоснования функциональных структур многофункциональных шахтосистем (кластеров) является когнитивный подход, который предусматривает формирование последовательных итераций причинно-следственной структуризации всех возможных функциональных структур угольных кластеров, в конечном итоге предполагая выделение оптимальной. При этом когнитивное моделирование, реализованное на когнитивной карте, характеризует устойчивое технологическое развитие угольных кластеров и позволяет в режиме реального времени выделять и анализировать все возможные сценарии

«пессимистического» и «оптимистического» характера, присущие устойчивому развитию.

3. На базе проведенных исследований, установлено, что основополагающей предпосылкой формирования высокоэффективной организационно-экономической модели многофункциональной шахтосистемы является оптимальный уровень производственной мощности базового элемента (угольной шахты), увязанный со строго пропорциональными зависимостями производственных мощностей вспомогательных производств, реализующих экологически «чистые угольные технологии» с должным уровнем синергического эффекта.

4. Согласно проведенным исследованиям, основными элементами, оказывающими негативное влияние на формирование рентабельности многофункциональной шахтосистемы Апсатского месторождения являются технологии коксохимии, технологии переработки техногенных отходов, технологии углегазоэлектрического комплекса (ЛУГЭК). Таким образом, в состав функциональной структуры многофункциональной шахтосистемы (кластера) Апсатского месторождения рационально включить следующие составляющие: технологии углехимии, технологии переработки метана, технологии когенерации и тригенерации и технологии углеобогащения.

5. В качестве основных вариантов базовой составляющей отработки запасов рационально рассмотреть следующие:

Вариант 1 – отработка запасов месторождения открытыми горными работами с обогащением всей добытой горной массы на обогатительной фабрике;

Вариант 2 – отработка запасов пласта C_2 подземным способом с обогащением всей добытой горной массы на обогатительной фабрике;

Вариант 3 – комплексная отработка запасов Апсатского месторождения (подземным и открытым способом) с обогащением всей добытой горной массы на обогатительной фабрике.

Результаты расчетов показывают, что при принятых условиях и ценах отработка запасов на участке открытых работ может являться высокорентабельной (срок окупаемости 4,7 лет). Строительство шахты совместно с ОФ (вариант 2) несмотря на длительные сроки окупаемости позволяет получить положительные экономические результаты. Однако этот вариант наименее стабилен и наиболее подвержен влиянию рисков. Комплексное освоение Апсатского месторождения (вариант 3) является

наиболее рациональным с точки зрения полноты использования недр, так как отработка максимального объема запасов остается экономически эффективной и целесообразной. В случае же полного обогащения всей горной массы и переработки в дополнительные виды продукции на основе технологий углехимии, переработки метана и когенерации данный вариант обеспечивает и наибольший экономический результат.

6. Разработанные практические рекомендации нашли применение при обосновании проектных решений по планированию развития горного производства в рамках открытого акционерного общества «СУЭК» при отработке запасов Апсатского каменноугольного месторождения.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи в научных изданиях, определенных ВАК РФ

1.Якунчиков Е.Н., Агафонов В.В. Обоснование направлений повышения уровня адаптивности высокопроизводительного очистного оборудования к изменению горно-геологических условий угольных шахт Развитие научных подходов к обоснованию проектных решений освоения георесурсного потенциала газугольных месторождений. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2017. — № 12 (специальный выпуск 40). — с.13-16. — М.: Издательство «Горная книга».

2.Якунчиков Е.Н., Агафонов В.В. Проектирование высокопроизводительной отработки запасов выемочных участков угольных шахт в усложняющихся горно-геологических условиях. Развитие научных подходов к обоснованию проектных решений освоения георесурсного потенциала газугольных месторождений. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2017. — № 12 (специальный выпуск 40). — с.17-20. — М.: Издательство «Горная книга».

3.Якунчиков Е.Н., Агафонов В.В. Научно-методическое обеспечение проектирования гибких технологий угледобычи в сложных горно-геологических условиях. Развитие научных подходов к обоснованию проектных решений освоения георесурсного потенциала газугольных месторождений. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2017. — № 12 (специальный выпуск 40). — с.21-24. — М.: Издательство «Горная книга».

SCOPUS:

1.Якунчиков Е.Н., Агафонов В.В. Проектирование высокопроизводительной отработки запасов выемочных участков угольных

шахт в усложняющихся горно-геологических условиях // Уголь. - №11. -2018. - С.4-10.

2.Якунчиков Е.Н., Агафонов В.В. Оптимизация функциональных структур угольных кластеров // Уголь. - №9. -2018. - С.64-70.

3.Якунчиков Е.Н., Копылов К.Н., Агафонов В.В. Выбор и обоснование функциональной структуры и стратегии развития угольного сектора экономики // Уголь. - №9. -2018. - С.64-70.