

*На правах рукописи*

**ВОРОПАЕВА Елизавета Викторовна**



**ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ УГОЛЬНЫХ  
ШАХТ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Специальность 25.00.21 – «Теоретические основы проектирования  
горнотехнических систем»

**Москва 2018**

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» на кафедре «Геотехнологии освоения недр» Горного института

**Научный руководитель:** **Агафонов Валерий Владимирович,**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Федаш Анатолий Владимирович,**  
доктор технических наук, заведующий  
отделом научно-технологического и  
информационно-аналитического  
обеспечения исследований и  
инновационной деятельности ФГБУН  
«ИПКОН имени академика  
Н.В. Мельникова РАН»,

**Ютяев Андрей Евгеньевич,**  
кандидат технических наук, начальник  
отдела управления проектами АО «СУЭК»

**Ведущая организация** ФГБОУ ВО «Тулский государственный  
университет» (ТулГУ)

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018г. в \_\_ часов на заседании диссертационного совета Д-212.132.14 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС») по адресу: 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д.6, стр.2, ауд. А-305

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИТУ «МИСиС» и на сайте по адресу: <http://misis.ru/science/dissertation>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018г.

**Ученый секретарь диссертационного совета Д-212.132.14**

доктор технических наук, профессор

**В.В. Агафонов**

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследований и степень ее проработанности**

Одним из основополагающих направлений решения сложных проблем в угольной отрасли и повышения технологического уровня производства является реконструкция действующих угольных шахт. Основной причиной реконструкции технологических систем является наличие так называемых «узких» звеньев, которые уменьшают пропускную способность и сдерживают рост технико-экономической эффективности.

Реконструкция угледобывающих предприятий с подземным способом добычи представляет собой сложную систему работ и событий, увязанных во времени и пространстве. Эффективность труда больших коллективов проектировщиков и рабочих, использование различных ресурсов и времени в значительной степени зависит от того, насколько рационально и обоснованно выстроена с научно-методической точки зрения эта система и организовано управление ею. Можно с должной степенью объективности констатировать о достаточно значительной степени громоздкости и размерности задачи корректного формирования сценариев технико-технологического переустройства горного хозяйства угольных шахт в современных рыночных условиях недропользования, что подтверждается их практической реализацией.

Анализ предшествующего опыта разработки научно-методического обеспечения различных производственных программ и сценариев проведения реконструкции технологических систем угольных шахт показывает, что традиционные методы оптимизации проектных решений формируют недостаточно высокую степень достоверности и надежности обоснования и формирования единой стратегии развития шахт, что предопределяет актуальность проведения дополнительных исследований в этой области и необходимость обращения к методологическим подходам современного поколения.

**Методы исследований** включают системный анализ проектной деятельности, функционально-структурный анализ, методы теории принятия сложных решений и квалиметрии, экономико-математическое моделирование, аналитические методы обработки статистических данных и др.

**Целью диссертации является** разработка методики обоснования необходимости реконструкции и очередности выделения инвестиций на обновление технологических систем угольных шахт.

**Идея работы** – основная идея работы заключается в том, что для обоснования реконструкции привлекается аппарат интегральной оценки георесурсного потенциала, технологической и экономической составляющей функциональных структур угольных шахт.

**Задачи исследований:**

- анализ основных тенденций, характеризующих уровень технико-экономической эффективности угольных шахт Российской Федерации;
- анализ целевых ориентиров, стратегических приоритетов и программы развития угольной отрасли Российской Федерации;
- анализ теоретических и практических исследований в области обоснования реконструкции технологических систем угольных шахт;
- анализ основных задач реконструкции и модернизации действующего шахтного фонда;
- выделение факторов, влияющих на переустройство угольных шахт и их классификация;
- анализ новых технико-технологических решений и направлений в проектах реконструкции угольных шахт;
- разработка методики и блок-схемы алгоритма процедуры обоснования реконструкции технологических систем угольных шахт;
- разработка практических рекомендаций по повышению технологического уровня и технико-экономической эффективности функциональной структуры шахты имени В.Д. Ялевского;
- экономическая оценка и верификация результатов исследования.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Направления развития технологических систем действующих угольных шахт предопределяются тенденциями полноты освоения георесурсного потенциала, уровнем развития научно-технического прогресса в отрасли и конкурентоспособностью рынка продукции на угольной основе.

2. Обоснование направлений повышения технологического уровня горного производства должно базироваться на комплексной оценке состояния действующего шахтного фонда с целью выявления «узких» звеньев в технологии угледобычи.

3. Экономический уровень функционирования горного производства определяется комплексной постановкой выявления предельных точек развития, после достижения которых резко уменьшается технико-экономическая эффективность, что однозначно приводит к необходимости реорганизации и модернизации технологических систем угольных шахт.

**Научное значение работы** заключается в разработке научно-методического обеспечения выбора и обоснования направлений совершенствования горного хозяйства угольных шахт с целью улучшения их технико-экономических показателей.

**Практическое значение работы** заключается в разработке практических рекомендаций по повышению технологического уровня и технико-экономической эффективности технологической системы шахты им. В.Д. Ялевского.

**Научная новизна диссертации** заключается в следующем:

- на основе методов теории принятия сложных решений и квалиметрии разработана методика обоснования необходимости реконструкции, включающая алгоритмически определенные этапы и последовательность их реализации на базе наиболее адаптивного научно-методического обеспечения;

- предложена система критериев оценки георесурсного потенциала, технологической и экономической составляющей функциональных структур угольных шахт;

- установлены основные принципы периодичности проведения реконструкции технологических систем угольных шахт.

**Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций** подтверждаются представительным объемом разноплановой статистической информации, экспериментально-промышленной экспертизой разработанных проектных технико-технологических решений по реконструкции технологической системы шахты им. В.Д. Ялевского, использованием современных методов исследований и непротиворечивостью полученных практических результатов в сопоставлении с теоретическими данными.

**Реализация результатов исследований.** Основные научные результаты диссертации были использованы при проработке проектных технико-технологических решений по реконструкции технологической системы шахты им. В.Д. Ялевского. Отдельные аспекты работы задействованы в учебном процессе Горного института при НИТУ «МИСиС» в лекционном сопровождении направления 130404 «Горное дело».

**Апробация работы.** основополагающие концептуальные результаты работы освещались в рамках научно-практического семинара кафедры «Геотехнологии освоения недр», (Москва, 2017), международных научно-практических конференций: «Потенциал современной науки» (Липецк, 2017), «Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения» (Липецк, 2017), международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, 2015, 2016, 2017, 2018 гг.).

**Публикации.** Основные результаты исследований отражены в 12 научных трудах, из них 4 опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

**Внутренняя структура и объем диссертации.** Выполненная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, содержит 38 рисунков, 31 таблицу и список литературы из 83 источников.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*В первой главе* проведен анализ современного состояния и перспектив развития шахтного фонда Российской Федерации. Выявлены следующие основные сложившиеся тенденции и закономерности современного этапа функционирования:

- рост производительности труда рабочего по добыче, который обусловлен применением импортной высокопроизводительной техники и современных технологий ведения горных работ;

- уменьшение количества действующих забоев, в результате сокращения действующих шахт, и переориентирование угледобывающих предприятий на высокопроизводительное оборудование привело к увеличению среднесуточной нагрузки на очистной забой;

- рост себестоимости 1 тонны угля, который обусловлен совокупностью факторов, таких как: сложные горно-геологические условия разработки, инфляционный процесс, увеличение непроизводительных затрат;

- наличие такого аспекта, как полное отсутствие в достаточных объемах геологоразведочных работ, предоставляющих информацию о физико-механических свойствах вмещающих пород и качественной характеристике различных категорий угольных запасов, сформировал тенденцию ограничения в ближайшей перспективе возможности наращивания угледобычи;

- тенденция выборочной отработки участков с благоприятными горно-геологическими условиями, что в дальнейшем приведет к ухудшению экономических показателей производственной деятельности угледобывающих предприятий России;

- отчетливо прослеживается тенденция усложнения горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации, что напрямую связано с увеличением глубины ведения горных работ, повышением газообильности и температуры вмещающих пород, ухудшением геомеханической обстановки;

- в силу приоритетной добычи нефти и газа, и эта тенденция сохранится в ближайшем будущем, наращивания темпов угледобычи не ожидается, хотя производственные мощности шахтного фонда позволяют реализовать прирост добычи до 150 млн т в год;

- ввиду практически полного отсутствия собственной машиностроительной базы по производству горнодобывающего оборудования угольные предприятия оснащаются и далее будут оснащаться техникой корпораций Джой, ДБТ, Пиома, Фазос, Глиник и др.;

- наличие крупных техногенных катастроф на отдельных предприятиях угольной отрасли указывает на тенденцию снижения уровня промышленной безопасности, ухудшение комфортных и безопасных условий труда;

- в последнее время наметилась явная тенденция трансформации и перевоплощения отдельных производственных единиц в многофункциональные шахтосистемы с полным циклом добычи, переработки и сбыта продукции на углеродной основе с использованием последних достижений в области экологически чистых технологий.

При этом отмечается, что одним из направлений повышения технико-экономической эффективности функционирования шахтного фонда является реконструкция действующих мощностей во всех ее формах. Основными направлениями реконструкции и модернизации шахт являются концентрация и объединение мелких шахт в крупные предприятия, реконструкция технологических комплексов поверхности; совершенствование и расширение функциональных возможностей схем вскрытия и подготовки шахтных и выемочных полей, резкое повышение нагрузки на выемочные эксплуатационные блоки путем увеличения концентрации горных работ, увеличения длины лав и скорости их подвигания, модернизация и увеличение пропускной способности подземного транспорта и шахтного подъема, вентиляции, совершенствование управления производством.

Выполнен анализ и обоснование методических подходов к реализации проектов реконструкции в угольной отрасли. Вопросы методического и методологического обеспечения процедуры реконструкции технологических систем угольных шахт формировались и прорабатывались ведущими учеными в области горного дела, среди которых можно отметить труды А.С. Бурчакова, А.С. Малкина, М.И. Устинова, В.А. Харченко, М.В. Романова, А.В. Старикова, В.И. Салли, Л.А. Кафорина, Н.Г. Капустина, В.М. Зыкова, В.М. Еремеева, Б.М. Воробьева, Ю.К. Батманова, В.М. Вылегжанина, М.Б. Луганцева. Их труды сформировали теоретическую базу для обоснования направлений по реконструкции технологических систем угольных шахт. В сфере современных исследований можно отметить труды Ю.Н. Кузнецова,

В.В. Мельника, В.В. Агафонова, А.К. Логинова, Н.К. Оганесян, Е.Е. Чмыхова, А.В. Северинова и др.

В данных работах приводятся отдельные теоретические и методологические особенности реформирования и модернизации горного хозяйства шахт на примере их объединения, модернизации и технического переоснащения, вскрытия и подготовки новых горизонтов, а также устранение «узких мест» в технологии угледобычи на основе использования различных оптимизационных методов, однако отсутствует единая методологическая основа технологического и экономического обоснования реконструкции технологических систем угольных шахт.

*Во второй главе* проведен анализ факторов, влияющих на переустройство угольных шахт, новых технико-технологических решений и направлений в проектах реконструкции их технологических систем. Описаны основные задачи и составляющие реконструкции технологических систем угольных шахт. Отмечается, что важнейшими задачами реконструкции являются совершенствование схем вскрытия и подготовки с целью ликвидации длинных уклонов, улучшение схемы подземного транспорта с одновременным устранением разбросанности горных работ, увеличение нагрузок на забой, участок, горизонт и шахту, а также улучшение проветривания шахты и сокращение протяженности проводимых и поддерживаемых выработок на единицу добычи.

При реконструкции шахт, кроме того решаются вопросы снижения трудоемкости выполняемых работ, создания безопасных и комфортных условий труда, повышения эффективности ведения работ, централизации и кооперации вспомогательных служб и цехов.

Исследования показали, что проекты реконструкции шахт могут разрабатываться:

- с приростом и без прироста мощности действующей шахты;
- при объединении двух или более шахт в одну производственную единицу;
- совместно со вскрытием и подготовкой новых горизонтов.

Как показали исследования в данной области, основными стратегическими факторами, которые определяют необходимость и, в конечном итоге, целесообразность проведения реконструкции технологических систем действующих угольных шахт в целом, так и отдельных ее элементов (подсистем) являются:

- сокращение или полная отработка запасов шахтных и выемочных полей;

- развитие научно-технического прогресса в отрасли и производимое на его базе перевооружение основных звеньев горного производства (моральный износ);

- постоянное ухудшение технико-экономических показателей производственно-хозяйственной деятельности угледобывающих предприятий.

Решающим моментом при этом является обеспечение необходимых и достаточных условий, при которых вкладываемые капитальные вложения приводили бы к соответствующему снижению эксплуатационных издержек на добычу угля, основанием же для проведения реконструкции служат технико-экономическое обоснование и экономико-математическое моделирование и расчеты. При детальном рассмотрении вопроса необходимо учитывать большое число факторов: увеличение или изменение размеров шахтного поля, расположение, дальнейшее использование и переоборудование существующих стволов, проходку новых и так далее.

Выявлено, что в технических проектах новых и реконструируемых предприятий используют новые прогрессивные решения по технологии и обогащению угля, внедряются новейшие средства комплексной механизации угледобычи, автоматизации и дистанционного управления, предусматривается новейшая организация управления производством и др., что позволяет повысить производительность труда, улучшить технико-экономические показатели и повысить эффективность производства.

К новым технико-технологическим решениям относятся:

- блочная схема отработки шахтного поля с размерами эксплуатационных блоков по простиранию до 6.0 км и по падению до 2.5 км, что обеспечивает устойчивую работу шахты в течение 15–20 лет без выполнения существенных работ капитального характера по переустройству горного хозяйства;

- погоризонтная схема подготовки и отработки пласта в сочетании с системой разработки длинными столбами по падению и восстанию;

- нисходящее проветривание в пределах панели с рациональной схемой прямоточного проветривания и подсвежением исходящей струи;

- применение мероприятий по искусственной дегазации спутников и разрабатываемого пласта, что позволяет поднимать нагрузку на лаву от 5000 до 15000 т/сут;

- вскрытие конвейерным наклонным стволом и вертикальным вспомогательным;

- применение высокопроизводительных автоматизированных комплексов с механизированными крепями;

- концентрация горных работ со значительными нагрузками на забой вследствие реализации технологических структур отработки запасов «шахта-лава», «шахта-пласт»;
- проведение подготовительных выработок проходческими комбайнами типа КСП – 42, КСП -32, П-110, КП – 21, Джой и др.;
- полная конвейеризация транспорта угля от забоя до погрузки в железнодорожные вагоны или аккумулярующие бункеры обогатительной установки;
- монорельсовый подземный транспорт вспомогательных материалов и людей;
- комплексная механизация и автоматизация производственных процессов в шахте и на поверхности, которая позволяет получить в проектах высокие технико-экономические показатели;
- оставление всей породы в шахте путем пневмозакладки ее в выработанное пространство лав для поддержания бутовых конвейерных выработок;
- блокировка зданий и сооружений на поверхности в единый комплекс;
- автоматизация и механизация вспомогательных процессов добычи, транспортировки и переработки угля;
- применение на скиповых подъемных установках большегрузных скипов и многоканатных подъемов, а также использование вагонеток большой емкости и т.д.

При реконструкции шахт следует предусматривать максимальное использование существующих выработок и оборудования; при этом проведение новых выработок взамен существующих, должно обосновываться проектом и технико-экономическим расчетом. При наличии благоприятных горно-геологических и горнотехнических условий в проектах реконструкции следует предусматривать наклонное вскрытие (поточная схема транспорта) и технологические структуры отработки запасов «шахта-лава» с минимальным объемом проводимых и поддерживаемых горных выработок.

*В третьей главе* разработано научно-методического обеспечение выбора объектов реконструкции и обоснования проектных решений.

К рассмотрению предлагаются три качественно принципиальные схемы анализа показателей работы шахты  $C_i$  при реконструкции (рис.1).

Первая схема. Показатели работы шахты без проведения реконструкции из-за ряда горнотехнических факторов постоянно снижаются (линия k-a). В результате реконструкции показатели работы предприятия стали улучшаться (линия a-b). Показатели сравнимого периода по

отношению к показателям базового изменились на величину  $\Delta C_i$ , но при этом не учтена величина снижения показателя за период  $t - t'$ , которая компенсирована приростом показателей за счет реконструкции, в данном случае составляет  $\Delta C'_i$ . Величина отклонения фактического прироста показателей от прироста показателей, определенного по отношению к базовому году, составляет:

$$\Delta C''_1 = \Delta C'_1 - \Delta C_1 \quad (1)$$

Вторая схема. Показатели работы предприятия относительно стабильны и в дальнейшем нет основания ожидать их снижения (линия k-a).

В этом случае  $\Delta C_2 = \Delta C'_2$ , т.е. величина отклонения  $\Delta C'_2 = 0$ .

Третья схема. В связи с общим техническим прогрессом в промышленности, показатели работы шахты постоянно улучшаются (линия k-a). Реконструкция шахты позволила несколько повысить темпы роста показателей (линия a-b). Если сравнивать показатели после реконструкции только с показателями базового года, то эффективность мероприятий непосредственно по реконструкции будет завышена на величину:

$$\Delta C''_3 = \Delta C_3 - \Delta C'_3 \quad (2)$$

Таким образом, при динамике показателей работы реконструируемых шахт по первой и третьей схемам для правильной оценки фактического эффекта реконструкции шахты или отдельных ее объектов, необходимо определять и учитывать величины  $\pm \Delta C''_i$ . Для первой схемы фактический эффект равен  $\Delta C_1 + \Delta C''_1$ , для третьей -  $\Delta C_3 + \Delta C''_3$ .

Определение величины  $\Delta C''_i$  в каждом конкретном случае производится на основании тщательного анализа организационно-технических возможностей действующего предприятия за период  $t - t'$ . Практически, это сводится к тому, что на момент сравниваемого года для реконструируемого предприятия на основании проектной проработки устанавливаются возможные изменения рассматриваемых показателей без проведения реконструкции.

Как показали исследования, циклы технического прогресса, в целом по угольной промышленности повторяются через 15-20 лет, что собственно и определяет периодичность проведения реконструкции на шахтах.

Наращение проектной мощности и других показателей в такие периоды происходит скачкообразно, после проведения реконструкции (рис.2).

Проведенные исследования позволили сделать ряд рекомендаций по определению количества и длительности этапов в развитии. Были получены корреляционные зависимости, позволяющие определить

длительность этапа в зависимости от первоначальной проектной мощности шахты, угла падения и мощности пласта.

$$\tau_1 = 11,89 + 0,0064 \cdot A_{\text{пр}}^{\circ}; \alpha < 20^{\circ}; m < 1,5 \text{ м} \quad (3)$$

$$\tau_1 = 10,14 + 0,0054 \cdot A_{\text{пр}}^{\circ}; \alpha < 25^{\circ}; m > 1,5 \text{ м} \quad (4)$$

$$\tau_1 = 12,14 + 0,0017 \cdot A_{\text{пр}}^{\circ}; \alpha < 25^{\circ}; m < 1,5 \text{ м} \quad (5)$$

Длительность этапа возрастает на шахтах с худшими горно-геологическими условиями, т.е. с  $\alpha > 25^{\circ}$  и  $m < 1,5 \text{ м}$ .

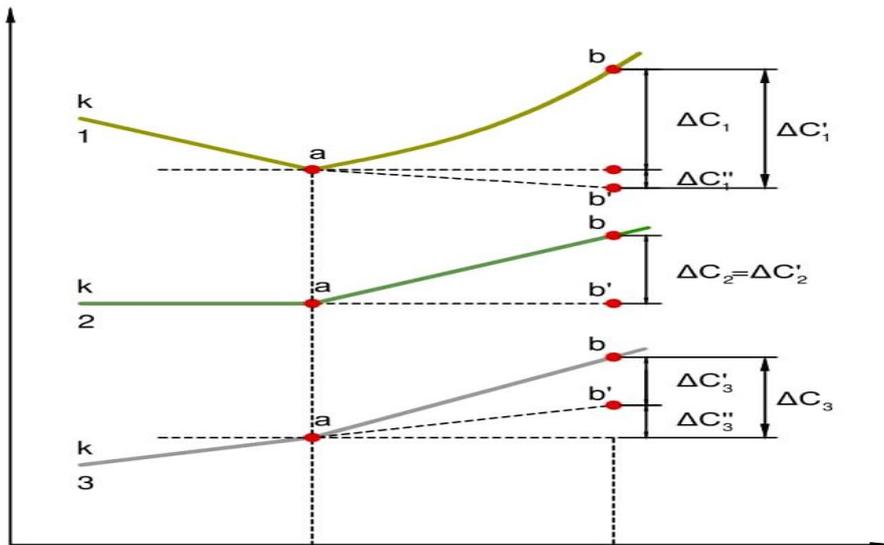


Рисунок 1 – Схемы показателей работы шахт базового и сравниваемого периодов

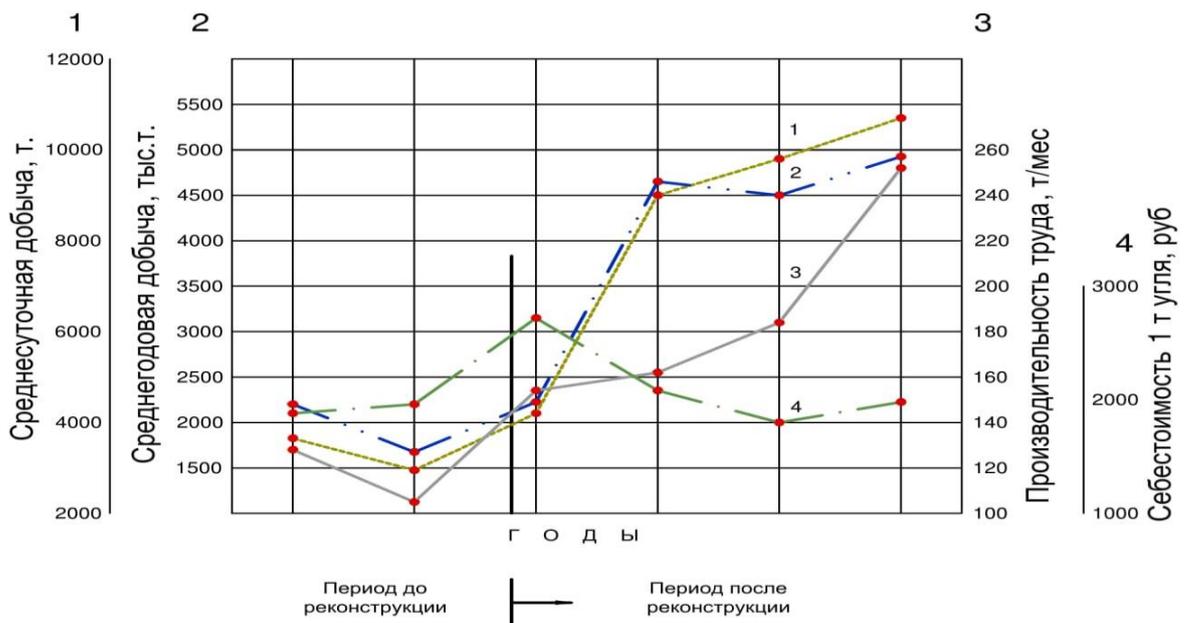
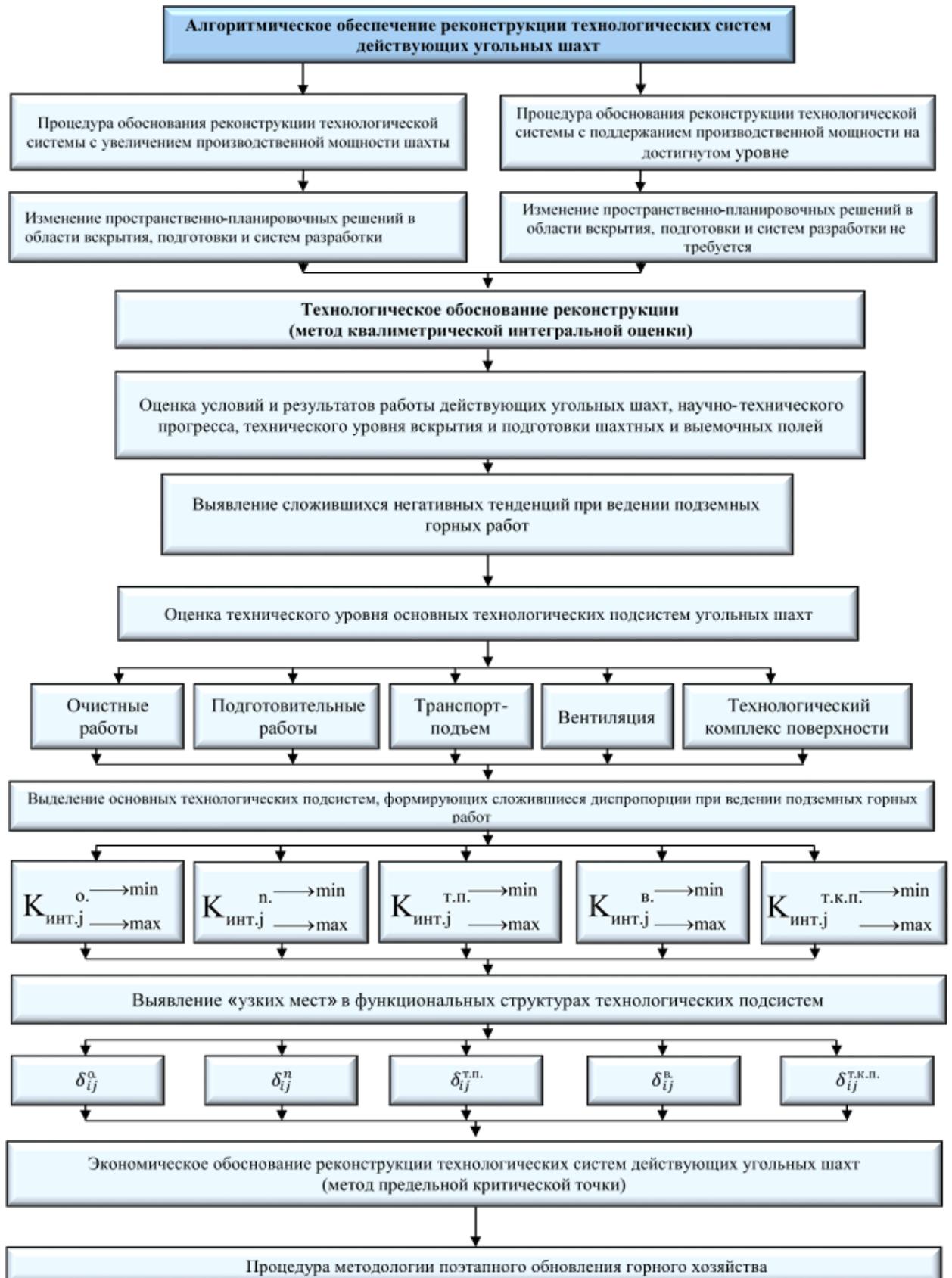


Рисунок 2 – Показатели работы шахт, разрабатывающих пологие пласты

Разработанная последовательность действий (блок-схема) алгоритма принятия соответствующих решений по выделенной группе шахт, технологические системы которых должны подвергнуться реконструкции, представлена на рис. 3.



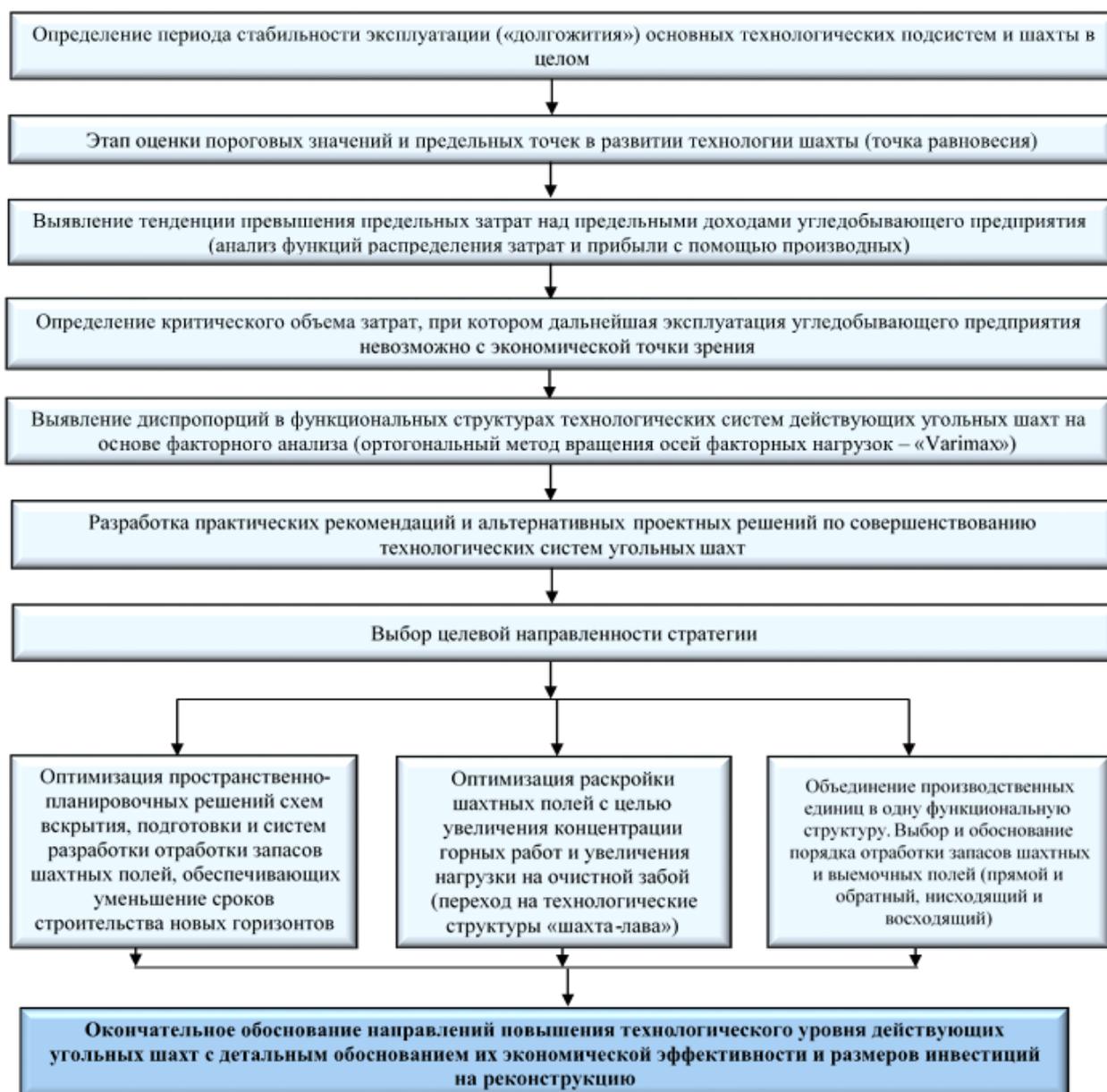


Рисунок 3 – Общая последовательность действий (блок-схема) при выборе и обосновании проектных решений по кластеру шахт, технологические системы которых подлежат реконструкции

В процессе исследований для технологического обоснования реконструкции технологических систем угольных шахт были использованы методы теории принятия сложных решений и квалиметрии, теории игр. Автором предлагается следующий методический подход. Были сформированы целевые функции интегральных функционалов, которые объединяют и суммируют в одно целое комплексы частных показателей-критериев оценки.

После реализации процедуры расчетов всех групп интегральных показателей-критериев, оценивающих благоприятность горно-геологических, производственно-технических и социальных условий, а также

результатирующий обобщающий уровень суммарных условий ( $K_{\text{усл}}$ ), производственно-техническую и экономическую эффективность работы шахт, обобщающий уровень технико-экономической эффективности ( $K_{\text{рез}}$ ), технический уровень схем вскрытия и подготовки шахтных и выемочных полей ( $K_{\text{вл}}$ ), результативность научно-технического прогресса в формировании технологических систем угольных шахт ( $K_{\text{нтп}}$ ), в окончательном виде формируется объем аналитической информации, анализ которой итеративно требует соблюдения продукционных правил ее обобщения, - в конечном итоге выделяются структурно-определенные группы шахт, объединенных одной целью закрытия, реконструкции, консервации или развития.

Процедура спецификации интегральной оценки предусматривает выбор целевой функции интегральных критериев (функционалов). В общем случае может быть использована аддитивная, мультипликативная или полилинейная форма.

В результате проведенных исследований был выявлен обязательный учет нормального закона распределения относительных отклонений оценочных показателей: - исходя из этого выбран интегральный функционал следующей формы:

$$K_{\text{инт.}j} = f\{\delta_{ij}\} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{ij}^2} \rightarrow \min, \quad (6)$$

где  $i$  - количество показателей оценки технологических систем угольных шахт, используемых в целевой функции интегрального критерия;  $\delta_{ij}$  - стандартизированное значение  $j$ -го показателя.

Для обеспечения условий параметризации предложенного критерия предлагается определять весовые оценки каждого оценочного показателя.

Реализация математического аппарата параметризации интегрального функционала (определение коэффициентов важности или весомости) выполнена с привлечением метода экспертного опроса типа «Делфи».

С учетом этих составляющих окончательная целевая функция интегрального критерия приобретает вид:

$$K_{\text{инт.}j} = f\{\varphi\}, \{\delta_{ij}\} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_{ij} \cdot \varphi_i)^2} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $\varphi_i$  – весовой коэффициент значимости  $i$  – го показателя.

Сопоставляя интегральные показатели, характеризующие в количественной форме технический уровень соответствующих технологических подсистем угольных шахт, их условий и результатов работы в статической и динамической постановках, можно объективно и

надежно выявить конкретные шахты, подлежащие реконструкции, а также установить очередность их обновления, в том числе и на перспективу.

Итогом данной оценочной процедуры является формирование общей матрицы всех групп интегральных показателей, которые однозначно указывают на проведение реконструкции (таблица 1).

Таблица 1 – Сочетания интегральных показателей, приводящих к реконструкции технологических систем угольных шахт

1	$K_{усл.} \approx \min$	$K_{рез.} \approx \min$	$K_{вп.} \approx \max$	$K_{нтп.} \approx \min$	Реконструкция с изменением схем вскрытия и подготовки
2	$K_{усл.} \approx \min$	$K_{рез.} \approx \text{sredn}$	$K_{вп.} \approx \max$	$K_{нтп.} \approx \min$	Реконструкция с изменением схем вскрытия и подготовки
3	$K_{усл.} \approx \min$	$K_{рез.} \approx \max$	$K_{вп.} \approx \max$	$K_{нтп.} \approx \min$	Реконструкция с изменением схем вскрытия и подготовки
4	$K_{усл.} \approx \text{sredn}$	$K_{рез.} \approx \min$	$K_{вп.} \approx \text{sred}$	$K_{нтп.} \approx \min$	Реконструкция без изменения схем вскрытия и подготовки
5	$K_{усл.} \approx \text{sredn}$	$K_{рез.} \approx \text{sredn}$	$K_{вп.} \approx \text{sred}$	$K_{нтп.} \approx \min$	Реконструкция без изменения схем вскрытия и подготовки
6	$K_{усл.} \approx \text{sredn}$	$K_{рез.} \approx \max$	$K_{вп.} \approx \max$	$K_{нтп.} \approx \min$	Реконструкция с изменением схем вскрытия и подготовки

В основу экономического обоснования реконструкции технологических систем угольных шахт положены принципиальные особенности методологии поэтапного обновления горного хозяйства, суть которой заключается в определении для основных технологических подсистем и шахты в целом временного периода стабильной эксплуатации («долгожития»), по истечении которого основные параметры соответствующих технологических звеньев должны в обязательном порядке обновляться с увеличением пропускных способностей, объемов угледобычи, надежности функционирования технологической системы и снижением эксплуатационных издержек на извлечение полезного ископаемого (угля).

На базе проведенных ранее исследований, определенные этапы развития технологической системы шахты и точечные моменты совершенствования и модернизации с учетом различного технического уровня основных подсистем технологических схем (поэтапное совершенствование и модернизация технологических систем угольных шахт) графически представляются в следующем виде (рис.4).

Конкретный момент модернизации и обновления технологии можно определить следующим образом, который графически представлен на рис.5.

В основу данной методологической составляющей заложено исследование функций распределения затрат и прибыли с помощью производных, которое позволяет определить критический объем затрат, при котором дальнейшая эксплуатация угледобывающего предприятия невозможна с экономической точки зрения.

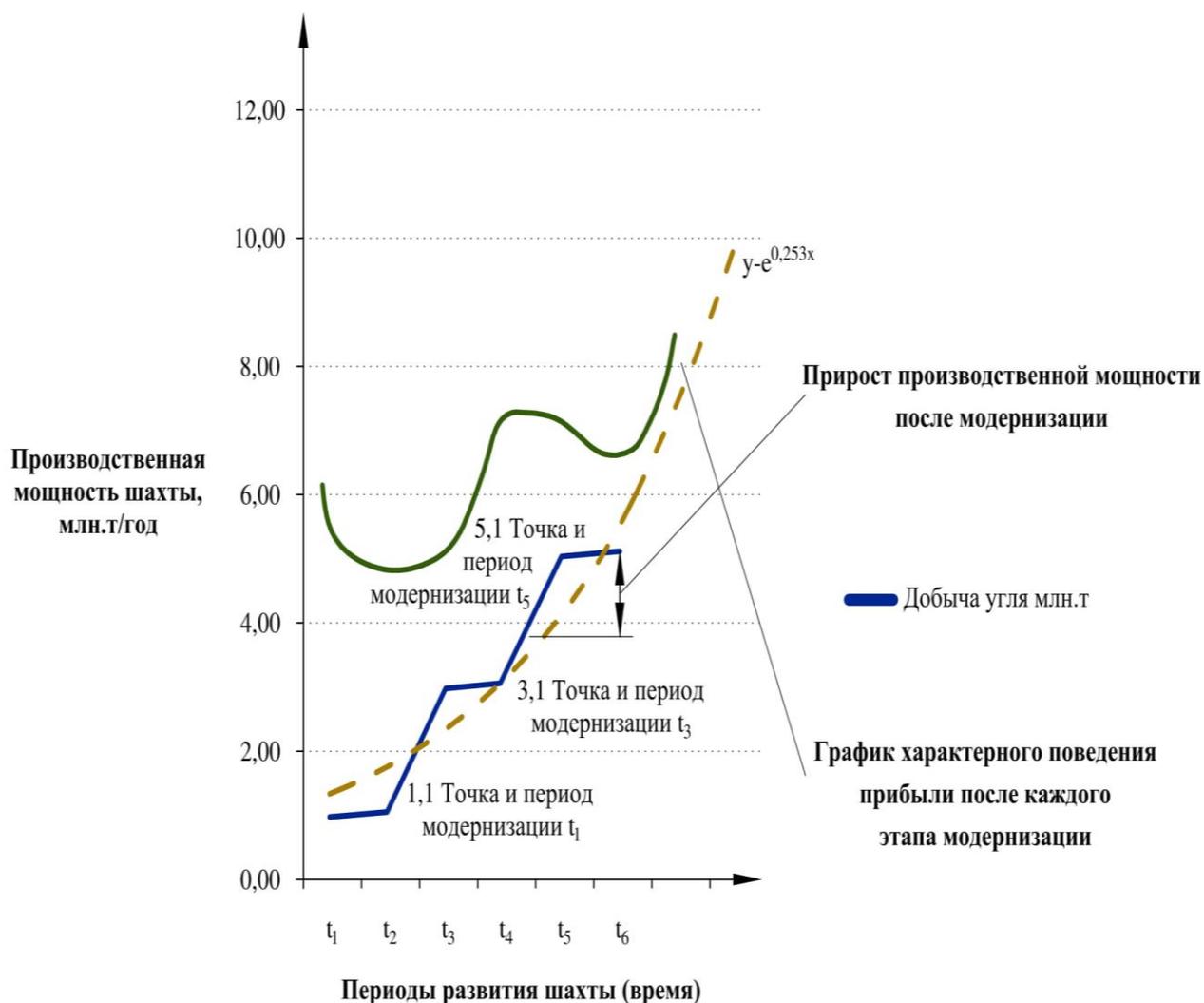


Рисунок 4 – Графическая интерпретация поэтапной модернизация технологической системы угольной шахты

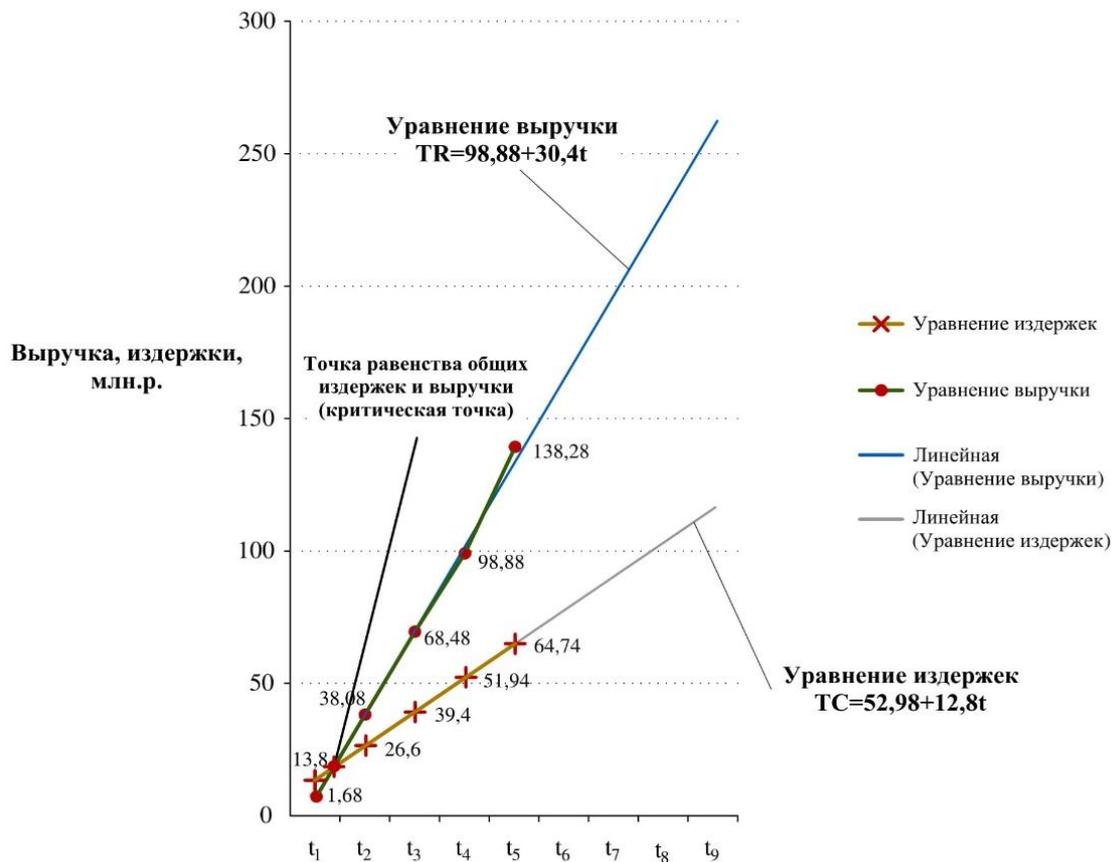


Рисунок 5 – Графический метод определения критического объема затрат

Для выявления диспропорций в технологической системе шахты «Котинская» ОАО «СУЭК-КУЗБАСС» использовался метод факторного анализа параметров из программного пакета статистического анализа Statistica.

Многочисленными исследованиями установлено, что при соблюдении ряда не очень строгих ограничений на исходную статистическую информацию можно получить сведения о скрытых диспропорциях в производственно-хозяйственной деятельности угольных шахт, возникающих задолго до их внешнего проявления. Такая возможность появляется благодаря анализу корреляционных связей между параметрами, которые искажаются значительно раньше, чем возникают отклонения от нормы какого-либо отдельного фактора.

Пусть для матрицы  $X (1:p, 1:n)$  зафиксированных параметров угольных шахт существует ковариационная (корреляционная) матрица  $\Sigma (1:p, 1:p)$ , где  $p$  - число параметров,  $n$  - число строк.

После приведения параметров к стандартному виду (по методике ISO 2314) матрицу исходных параметров можно рассматривать как

информационный массив угольной шахты за определенный период эксплуатации.

Путем линейного преобразования  $X = QY + U$  можно уменьшить размерность исходного факторного пространства  $X (1:p)$  до уровня  $Y (1:p')$ , при этом  $p' \ll p$ . Это соответствует преобразованию точки, характеризующей состояние угольных шахт в  $p$ -мерном пространстве, в новое пространство измерений с меньшей размерностью  $p'$ . Очевидно, что геометрическая близость двух или множества точек в новом факторном пространстве означает стабильность производственно-технического состояния угольных шахт и, наоборот, большое их расхождение означает появление диспропорций в основных технологических звеньях.

Программный пакет статистического анализа Statistica позволяет в диалоговом режиме вычислить матрицу факторных нагрузок  $Q (1:p, 1:p')$ , а для физической интерпретации выбранных главных факторов дополнительно преобразовать координаты факторного пространства с помощью вращения осей факторных нагрузок. В работе использовался метод *варимакс*, который соответствует преобразованию координат: *вращение, максимизирующее дисперсию*. В данном методе получают упрощенное описание столбцов факторной матрицы. При этом рассматривается дисперсия квадратов нагрузок фактора. Результаты вычисления среднего расстояния  $r_a$  для факторных нагрузок показывают, что на начальном этапе контроля за производственно-техническими параметрами с увеличением срока эксплуатации технологической системы ш. Котинская расстояние между факторными нагрузками непрерывно увеличивалось с незначительным приращением, что отмечалось при соответствующих статистических мониторинговых измерениях. Если сопоставить полученные результаты и числовые характеристики, то можно сделать вывод о том, что изменение расстояния между факторными нагрузками связано, прежде всего, с параметрами, которые характеризуют приращение газообильности, нарушенности и водообильности. Изменение этих параметров, зафиксированное по изменению расстояния между факторными нагрузками, вызвано попаданием в рабочее пространство очистных забоев этих негативных компонентов рабочей среды.

Анализ тенденции увеличения среднего расстояния между факторными нагрузками, измеренного для выделенной группы параметров технологической системы ш. Котинская ОАО «СУЭК-КУЗБАСС», позволяет утверждать, что отмеченное накопление этих негативных компонентов в конечном итоге обязательно привело бы к ухудшению технико-

экономических показателей. Ретроспектива полностью подтвердила выводы, сделанные на основании факторного анализа параметров.

Таким образом, факторный анализ параметров технологических систем угольных шахт позволяет выявить на ранней стадии возникновение определенных диспропорций в функционировании технологических систем угольных шахт.

В четвертой главе выполнена практическая апробация результатов исследований. В интегральную оценку состояния шахтного фонда были вовлечены производственные единицы ОАО «СУЭК-Кузбасс». По результатам этой оценки в качестве объекта реконструкции была выбрана шахта им. В. Д. Ялевского, удовлетворяющая шестому пункту сочетанию интегральных показателей. Разработанные проектные решения по реконструкции технологической системы шахты имени В.Д. Ялевского приняты к использованию и предусматривают выполнение работ по вскрытию, подготовке и отработке запасов пласта 50.

Верификация результатов исследований показывает, что выбранные и обоснованные проектные решения при существующих условиях и ценах на уголь, являются экономически целесообразными и выгодными:

- инвестиционные затраты для подготовки и отработки пласта 50 окупаются за 4 года, с учетом дисконтирования за 4.5 лет.

- рентабельность инвестиций -  $P_i = 1.6$ , дисконтированная рентабельность инвестиций - 1,2.

-IRR- (внутренняя норма доходности) – 28.1%.

Разработанные методические положения и результаты исследований рекомендуется использовать при разработке стратегии развития шахтного фонда на долгосрочную перспективу и краткосрочном планировании развития горных работ на угольных шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» в г. Ленинск-Кузнецкий.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены методические положения концептуального подхода к формированию информационно-аналитической научной базы обоснования необходимости реконструкции и очередности выделения инвестиций на обновление технологических систем угольных шахт, внедрение которой позволит повысить технологический уровень, конкурентоспособность и эффективность работы шахтного фонда, а также вносит вклад в развитие теории проектирования горнотехнических систем.

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

1. В результате анализа современного состояния, целевых ориентиров, стратегических приоритетов и программ развития угольной отрасли Российской Федерации установлено, что повышение конкурентоспособности и технико-экономической эффективности работы шахтного фонда угольных компаний России может быть обеспечено только при условии внедрения механизма регулирования уровня конкурентоспособности шахт, который напрямую связан с выбором определенной стратегии и формы развития (поддержание мощности на достигнутом уровне, техническое перевооружение и модернизация, реконструкция, закрытие, диверсификация).

2. Статистическими исследованиями установлено, что длительность эффективной эксплуатации конкретных вариантов технологических схем («долгожитие») составляет в среднем 15-20 лет. Эта величина вместе с глубиной прогнозирования и определяет длительность этапа эксплуатации, по истечении которого должно происходить их развитие и обновление в форме реконструкции с тем, чтобы поддерживать либо улучшать производственно-экономические результаты на соответствующем уровне конкурентоспособности.

3. Установлено, что основополагающим условием целесообразности проведения мероприятий по реконструкции технологических систем угольных шахт и улучшению технико-экономических показателей является наличие «узких» звеньев в технологии угледобычи, которые исключают дальнейшее развитие шахты в технологическом и экономическом планах. На определенном этапе своего существования необходимо устранить моральное старение технологических звеньев, без которого дальнейшая нормальная работа шахты невозможна

4. Доказано, что выбор проектных вариантов реконструкции технологических систем угольных шахт и их технологическое обоснование должны производиться на базе квалиметрической интегральной оценки георесурсного потенциала и производственных возможностей предприятия по критериям продуктивности схем вскрытия и подготовки, достаточности фронта очистных работ, пропускной способности транспортной и вентиляционной систем, подъема и технологического комплекса на поверхности шахты, а экономическое обоснование должно включать этап определения предельных точек в развитии шахты (метод предельной критической точки).

5. Разработан алгоритм обоснования направлений повышения технологического уровня действующих угольных шахт, согласно которому положив в основу стратегических решений о реконструкции и техническом перевооружении приоритет благоприятных условий работы (горно-геологических, производственно-технических, степень ухудшения технического уровня схем вскрытия и подготовки, очистных и подготовительных работ, схем транспорта-подъема, вентиляции, технологического комплекса поверхности) можно проранжировать все шахты, участвующие в оценке по актуальности и очередности обновления технологических схем и отдельных технологических подсистем и элементов технологии. Все мероприятия, реализованные в рамках определенной стратегии, в зависимости от реализуемой модели, либо обеспечат неизменность существующих значений показателей состояния технологических систем угольных шахт, либо приведут к их улучшению.

6. Основные научные и практические результаты диссертации были использованы и внедрены при проработке проектных технико-технологических решений по реконструкции технологической системы шахты им. В.Д. Ялевского.

7. Методические положения и результаты исследований рекомендуется использовать при разработке стратегии развития шахтного фонда на долгосрочную перспективу и краткосрочном планировании развития горных работ на угольных шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» в г. Ленинск-Кузнецкий.

**Основные положения диссертации отражены в следующих опубликованных работах автора:**

*В научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ*

**1. Воропаева Е.В., Агафонов В.В., Беляев В.В.** Обоснование производственной мощности шахты с использованием коэффициента корректировки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – №7. – 2015 – С.76.

**2. Воропаева Е.В., Агафонов В.В., Беляев В.В.** Многофункциональные шахтосистемы отработки запасов угольных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – №9. – 2015 – С. 327.

**3. Воропаева Е.В., Агафонов В.В.** Технологическое обоснование реконструкции угольных шахт на базе квалиметрической интегральной оценки георесурсного потенциала и основных уровней производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – №2 (9). – 2018 – С. 3-7.

**4. Воропаева Е.В., Агафонов В.В.** Выявление диспропорций в технологических системах угольных шахт на основе факторного анализа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – №2 (9). – 2018 – С. 8-12.

*В прочих изданиях*

5. **Воропаева Е.В.** Модельные представления мониторинга технологических систем угольных шахт с динамическими ограничениями. / «Опыт прошлого – взгляд в будущее» - 4-я Международная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов. Материалы конференции: ТулГУ, Тула. – 2014 – С. 79-84.
6. **Воропаева Е.В., Агафонов В.В.** Системный анализ, оптимизация и принятие решений при функционировании угольных шахт //Международный независимый институт Математики и Систем «МиС». Ежемесячный научный журнал. – №8. – 2014 – С. 5-10.
7. **Воропаева Е.В., Агафонов В.В.** Обоснование периодичности реконструкции угольных шахт // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – №3 (35). – 2017 – С.23-25.
8. **Воропаева Е.В., Агафонов В.В.** Основные аспекты реконструкции технологических систем угольных шахт // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – №3 (35). – 2017 – С.26-29.
9. **Воропаева Е.В., Агафонов В.В.** Выбор проектных вариантов реконструкции технологических систем угольных шахт и их экономическая оценка // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – №3 (35). – 2017 – С. 30-33.
10. **Воропаева Е.В., Агафонов В.В., Арефьев В.А.** Гибкие технологические системы эффективной отработки запасов угольных месторождений // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – №2. – 2017 – С.16-18.
11. **Воропаева Е.В., Агафонов В.В., Арефьев В.А.** Методический подход к синтезу технологических систем угольных шахт // Потенциал современной науки. – №1. – 2017 – С.9-12.
12. **Воропаева Е.В., Агафонов В.В., Колесникова И.В.** Пути повышения технико-экономической эффективности технологических систем угледобычи // Потенциал современной науки. – №4 (30). – 2017 – С.14-16.

**В работах, опубликованных в соавторстве, лично соискателю принадлежит:**

- анализ отдельных аспектов современного состояния и программ развития угольной отрасли Российской Федерации [1,2];
- разработка методических положений и алгоритма технологического обоснования реконструкции технологических систем угольных шахт [3];
- разработка методических положений и алгоритма выявления диспропорций и «узких» мест в технологии угледобычи [4];
- разработка методических положений и алгоритма экономического обоснования реконструкции [5,6,9];
- разработка алгоритма обоснования направлений повышения технологического уровня действующих угольных шахт [8,10,11,12];
- обоснование периодичности проведения реконструкции угольных шахт [7].