

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ВОСТОЧНОУКРАИНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени
ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

Рамазанов С.К.

**ИНСТРУМЕНТЫ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРЕДПРИЯТИЕМ**

Монография

Донецк
Юго-Восток
2008

УДК[004 492:504.064.3.003.1]:658.5

ББК У 529-21

Р 21

Рекомендовано

*Ученою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля
(Протокол № 10 от 25.05.2007 г.)*

Рецензенти:

Заруба В.Я. – декан факультету управління бізнесу, завідувач кафедрою економічної кібернетики и маркетингового менеджменту Національного технічного університету „ХПІ”, доктор економічних наук, професор (м. Харків).

Садсков А.А. – проректор з наукової роботи Донецького державного університету економіки та торгівлі ім. М. Тугана Барановського, доктор економічних наук, професор (м. Донецьк).

Рамазанов С.К.

Инструменты эколого-экономического управления предприятием: Монография / Под ред. проф. Ю.Г. Лысенко. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2008. - с.

ISBN 966-590-520-1

Монография посвящена актуальной проблеме эколого-экономического управления производственной системой (ПС) в условиях нестабильной и неопределенной внешней среды. Рассматриваются основы теоретических, методологических и прикладных задач мониторинга, моделирования, прогнозирования, планирования, управления и принятия решений в условиях неопределенности, рисков и катастроф. Автор определяет основные проблемы эколого-экономического моделирования и управления ПС в условиях трансформационной экономики для промышленных предприятий непрерывного типа производства (на примере обогатительных технологий) и рассматривает решение этих проблем в динамике при наличии неопределенности информации, рисков, нелинейностей и нестабильности. Значительное внимание в работе уделено вопросом **практической** реализации полученных результатов на основе широкого применения современных методов системного анализа и синтеза, нелинейных и информационных технологий.

Монография рекомендуется для научных рабочих, преподавателей ВУЗ, специалистов органов государственного управления **разных** уровней, аспирантов, студентов и всех, кто интересуется проблемами эколого-экономического моделирования и управления, а также кто желает видеть свое будущее безопасным и комфортным.

Монографія присвячена актуальній проблемі еколого-економічного управління виробничою системою (ВС) в умовах нестабільної й невизначеної зовнішньої середовища. Розглядаються основи теоретичних, методологічних та прикладних задач моніторингу, моделювання, прогнозування, планування, управління та прийняття рішень в умовах невизначеності, ризиків та катастроф. Значну увагу в роботі призначено питанням практичної реалізації отриманих результатів на основі широкого застосування сучасних методів системного аналізу і синтезу, нелінійних та інформаційних технологій.

Монографія рекомендується для наукових робітників, викладачем ВНЗ, спеціалістів органів державного управління різних рівнів, аспірантів, студентів та всіх, хто цікавиться проблемами еколого-економічного моделювання та управління, а також хто бажає бачити своє майбутнє безпечним та комфортним.

Табл. 18. Іл. 75. Бібліогр. назв. 285

ISBN 966-590-520-1

©Східноукраїнський національний університет ім.

Володимира Даля

© Рамазанов С.К. 2008

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап общественного и социально-экономического развития Украины и многих других стран характеризуется не только серьезными экономическими катаклизмами, но и сложными техногенными и экологическими кризисами и катастрофами. Экологическая обстановка в стране представляет угрозу не только для нынешнего поколения, а в большей мере для будущих поколений. В связи с этим возникла острейшая необходимость в совместных конкретных действиях всех государств, направленных на защиту экосистемы всей Земли. В Украине давно начата разработка эффективной экологической политики и уже на государственном уровне принят ряд важнейших документов: «Государственная программа охраны окружающей природной среды (ОПС) и рационального использования ресурсов, постановления Кабинета Министров Украины («Об утверждении Положения о государственном мониторинге окружающей природной среды» от 23 сентября 1993г. № 785, «О реализации приоритетных направлений развития науки и техники» от 22 июня 1994 г. №429), распоряжения Кабинета Министров Украины от 17 октября 2007 г. № 880-р «Концепция национальной экологической политики Украины на период до 2020 года» и др. Успех реализации этих и других мероприятий зависит не только от создания и практического использования новых технических средств и технологий очистки загрязненных компонент окружающей природной среды и утилизации отходов, а и от разработки и внедрения принципиально новых подходов и создания многоуровневых интегрированных автоматизированных систем экологического и экономического мониторинга, управления и принятия эколого-экономических решений для производственных систем (ПС) в современных условиях нестабильной внешнеэкономической среды, на базе современных теорий, методов и средств синтеза информационных систем и технологий, теории систем управления и системного анализа, а также инженерно-инновационных методов и подходов к современному компьютеризированному менеджменту. Такой подход основывается на принципе важности интегрального экологического и экономического мониторинга и управления самим источником загрязнения, а не только последствий загрязнения им ОПС.

Глобальная цель данной работы по созданию моделей и систем информационных технологий ЭЭУ ориентирована и основана на концепции «устойчивого экологически безопасного промышленного развития» - «Ecologically sustainable industrial development» (ESID)[135]. Заметим, что программа ESID была разработана ЮНИДО – специализированной организацией ООН по промышленному развитию – в 1992 г. и утверждена резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН № 42/187. По определению ЮНИДО, ESID – это модель индустриального развития, которая способствует экономическому и социальному процветанию человека в настоящем без угрозы будущим поколениям.

Разработка и исследование экономико-математических моделей и использование информационных технологий в эколого-экономическом управлении (ЭЭУ) производственными системами в современных условиях

нестабильностей и рисков является достаточно актуальной проблемой, что в полном объеме подтверждается мнением акад. НАН Украины М.З. Згуровского, высказанным по поводу концепции устойчивого развития [285]. Она в значительной мере является продолжением концепции о ноосфере, об обязательной «согласованности экономического, экологического и человеческого развития таким образом, чтобы от поколения к поколению не уменьшались качество и безопасность жизни людей, не ухудшалось состояние окружающей среды и осуществлялся социальный прогресс, учитывающий потребности каждого человека», сформулированной В.И. Вернадским еще в первой половине XX века. Теория и практика свидетельствуют, что на рубеже столетий учение В.И. Вернадского оказалось необходимой платформой для выработки триединой концепции устойчивого эколого-социально-экономического развития и построения интегральной модели «экологической экономики» и «экономики знаний», то есть модели «разумного общества», являющегося высшей формой развития общества, основанного на знаниях. При этом, для решения задачи снижения вредного воздействия производственной деятельности предприятий на окружающую природную среду в условиях реформирования экономики, необходима разработка интегрированной интеллектуальной системы эколого-экономического мониторинга, управления и принятия эколого-экономических решений.

Также уместно напомнить высказывание М. Портера: *«страны с наиболее жестким природоохранным законодательством имеют наиболее высокие экономические показатели»*, т.е. он опровергает распространенное мнение, что строгие меры экологической политики негативно влияют на конкурентоспособность государства. Поэтому должна быть существенна доля расходов в ВВП на экологическую безопасность, т.е. на экологию в целом.

Данная монография посвящена проблеме эколого-экономического управления производственно-экономической системой (ПЭС), функционирующей в современных условиях нестабильной и неопределенной среды, являющейся фактором современного этапа развития Украины. Рассматриваются основы теоретических, методологических и прикладных задач эколого-экономического мониторинга, моделирования, прогнозирования, планирования, управления и принятия решений для ПЭС в условиях неопределенностей и рисков. Особое внимание уделяется вопросам использования информационных технологий и экономико-математического моделирования процессов управления ПЭС на примере промышленных предприятий непрерывного типа производства (например, углеобогатительной фабрики – ОФ) и рассмотрены эти проблемы при наличии неопределенности информации, рисов, нелинейностей и нестабильностей. Значительное внимание в работе уделено вопросам практической реализации полученных результатов.

Поскольку рассматриваемая проблема в целом является многоаспектной и междисциплинарной, необходимо привлечь для ее решения результаты многих научно-технических направлений [10-57]: теория систем, системный и комплексный подход, позволяющие учесть как взаимосвязь 3-х типов процессов – производственно-экономических (технологических), экологических и рыночных,

так и многоуровневость систем эколого-экономического мониторинга (локальная, региональная, государственная и мировая); методы теории информационно-компьютерных технологий и концепция 4-х "И"; методы современной теории управления, проектирования и принятия решений, в том числе теория компьютерного моделирования сложных систем, робастное, гарантированное, адаптивное и интеллектуальное управление; методы и языки описания сложной неопределенной информационной обстановки, в том числе расплывчатых данных и знаний; методы, учитывающие "НЕ-факторы" (нелинейность, нестабильность, нестационарность, неопределенность, нечеткость, недетерминированность и др.) и "МНОГО-факторы" (многомерность, многокритериальность и т.п.); методы компьютерного проектирования технических систем, в том числе информационно-измерительные экологические приборы, средства и технологии очистки и утилизации; методы и модели производственного менеджмента и маркетинга для СЭЭМ; методы теории кооперативных и неантогонистических дифференциальных игр для принятия согласованных и взаимоприемлемых экономо-экологических решений; методы и модели рискологии, теории аттракторов и катастроф, учитывая, что эколого-экономические системы относятся к классу развивающихся и самоорганизующихся систем и т.п.

В развитие и широкое применение этих направлений большой вклад внесли как отечественные, так и зарубежные ведущие ученые: Михалевич В.С., Михалевич М.В., Моисеев Н.Н., Сергиенко И.В., Шор Н.З., Юдин Д.Б., Ястремский А.И. и др. Фундаментальный вклад в развитие методологии применения количественных методов в экономике принадлежит ученым Алиеву Р.А., Арнольду В.И., Буркову В.Н., Витлинскому В.В., Геецу В.М., Заде Л.А., Зарубе В.Я., Зангу В.- Б., Гузю Н.Г., Згуровскому М.З., Кунцевичу В.М., Красовскому А.А., Красовскому Н.Н., Лысенко Ю.Г., Малинецкому Г.Г., Новикову Д.А., Петренко В.Л., Поспелову Д.А., Пригожину И, Пушкарю А.И., Растригину Л.А., Садекову А.А., Самарскому А.А., Сергеевой Л.Н., Черняку А.И., Ульшину В.А., Хакену Г и многим другим. Отдельные аспекты указанных направлений исследований рассматривались в работах отечественных и зарубежных ученых: Александрова И.А., Ансофа И, Бира Ст., Лоскутова А.Ю., Алимova А.М., Амоши А.И., Берсуцкого Я.Г., Вовка В.М., Галицына В.К., Голикова В.И., Забродского В.А., Клебановой Т.С., Ковальчука К.Ф., Ляшенко И.Н., Порохни В.М., Румянцева Н.В., Чумаченко Н. Г. И др.

В данной работе решена новая научно-практическая проблема экономико-математического моделирования и разработки систем информационных технологий эколого-экономического управления производственной системой, функционирующей в условиях нестабильной, неопределенной и рискованной (опасной) внешней и внутренней среде, характерной современному этапу развития Украины.

Получены следующие научные результаты: разработаны концепция и принципы эколого-экономического моделирования и управления в интегрированных автоматизированных интеллектуальных системах управления производственно-транспортными комплексами ОФ и принятия решений в системе экологического мониторинга при отсутствии полной информации или ее

расплывчатости и неопределенности; разработана концепция создания и структура локальной системы эколого-экономического мониторинга и управления предприятием (на примере ОФ); разработаны и исследованы комплексные эколого-экономические критерии глобального и локального управления и принятия решений для ПЭС для всех уровней иерархии соответственно декомпозиции структуры системы ЭЭУ ПС (ОФ) и при учете как экономических, так и экологических параметров; разработаны эколого-экономические и транспортно-производственные модели и алгоритмы функционирования ПЭС, в том числе элементы автоматизированной системы оперативного диспетчерского управления и планирования; разработана интегрированная автоматизированная система эколого-экономического управления ПЭС с использованием методов интеллектуализации и нечетких гибридных регуляторов, функционирующих в условиях смешанной неопределенности и на основе предложенной сети АРМ всех уровней; разработаны методы и алгоритмы оценивания, моделирования и прогнозирования состояния атмосферного воздуха в зоне ПС (ОФ) в условиях стохастической неопределенности; разработан комплекс моделей для эколого-экономического управления в условиях неопределенности, нестабильности и рисков, а именно: динамическая модель управления ПЭС в условиях неопределенности, рисков и с учетом нелинейности процессов; интегральная нелинейная динамическая, а также стохастическая эколого-экономические модели ПЭС; обобщена модель динамики и структура интегрированной интеллектуальной системы мониторинга и управления безопасностью ПС; разработана модель влияния инновационных технологий на ПЭС с учетом синергизма систем для разных условий взаимодействия подсистем; динамическая модель управления рисками в случае смешанной начальной информации; модели и алгоритм гибридных интеллектуальных систем, функционирующих в условиях смешанной неопределенности и позволяющий комбинировать традиционную количественную информацию с качественной трудноформализуемой информацией в виде лингвистических и нечетких переменных; модели, принципы построения и алгоритмы принятия решений в системе диагностики кризисного состояния ПЭС; модель, методика и алгоритмы формирования интеллектуальной системы управления экологическими рисками; динамическая модель оптимального управления в системе эколого-экономического мониторинга для ПЭС, а также подход к решению проблемы моделирования рисков при многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности; обобщена модель эколого-экономического управления производственно-транспортными комплексами ОФ для СЭЭМ в виде граф-структур и матричного билинейного дифференциального уравнения, включающего как локальную, так и координирующую управляющие переменные; исследование проблемы охраны атмосферного воздуха (как пример) для СЭЭМ и поставлена задача моделирования и прогнозирования атмосферных процессов в зоне ОФ в условиях стохастической неопределенности, которые описываются случайными динамическими моделями; метод моделирования динамики технологических производственных процессов (ТП) на основе интегрального оператора и в условиях стохастичности параметров и предложен простой подход к выбору

начального приближения при нелинейной аппроксимации, основанный на двойном квадратичном разложении, а также разработан программный пакет по реализации данного метода и получен достаточно простой и удобный метод решения интегральных уравнений Фредгольма I - рода; анализ проблемы управления процессом сушки как наиболее экологически неблагоприятного на ОФ, показал неудовлетворительность существующих подходов, разработаны модели эколого-экономического управления им в условиях нечеткой информации с использованием предложенного в работе гибридного регулятора; разработана экспертно-советующая система управления ТП с нечеткой базой знаний как блока принятия решений в АРМ ОФ, по предложенной ранее методике, создание экспертных систем с диалоговой генерацией дискретной функции принадлежности и формирования нечеткой продукционной базы знаний по всем возможным технологическим ситуациям.

Монография состоит из введения, восьми глав и приложения. Во введении обосновывается актуальность и пути решения проблемы эколого-экономического моделирования и создания интегрированных автоматизированных систем управления и поддержки принятия решений на всех уровнях с элементами интеллектуальности для промышленных источников загрязнения в условиях нестабильной внешней среды.

В первой главе изложен анализ существующего состояния проблем эколого-экономического моделирования и управления, автоматизации и интеграции различных подсистем ПС, на примере ОФ и показаны недостатки и трудности их использования в системах экологического и экономического мониторинга в условиях нестабильной среды и при неопределенности и рисков.

Во второй главе разработаны эколого-экономические модели управления ПС, учитывающие наличие нестабильности внешней среды, нелинейности связей, динамику, стохастичность и смешанную неопределенность информации, условия рисков и др.

Третья глава посвящена разработке принципов и концепции создания систем типа "Х" ("Интегрированная интеллектуальная компьютеризированная система") для эколого-экономического мониторинга, управления и принятия решений для промышленных источников загрязнения на примере ОФ. Разработана логистическая структура ОФ с ИАСУ для СЭЭМ на основе локальных компьютерных сетей АРМ и единой информационной базы. Приведены методы и модели систем интеллектуального управления для различных профессиональных мест управления и принятия решений в условиях смешанной неопределенности. Предложен подход к гибридизации в управленческих решениях.

В четвертой главе работы разработаны как локальные, так и глобальные комплексные технолого-экономические и экологические критерии управления ТП и производством в целом в условиях рыночной экономики и экологического мониторинга. Приведен компьютерный анализ предложенных критериев по реальным данным наблюдений.

В пятой главе разработана структура, программно-математическое и информационное обеспечение для автоматизации подсистемы "Транспорт" ОФ, функционирующей в СЭЭМ.

В шестой главе разработаны математические и программные средства моделирования и прогнозирования (как краткосрочного, так и долгосрочного) состояния атмосферных процессов в зоне промышленного источника загрязнения. Показаны сходимость и устойчивость предложенных методов при выбранном шаге дискретизации. Приведены контрольные примеры и их анализ.

Седьмая глава полностью посвящена вопросам планирования и моделирования технологических схем, процессов и сырьевой и товарной баз ОФ в условиях эколого-экономического мониторинга.

В восьмой главе приведены программные пакеты ряда подсистем ИАСУ ОФ, а именно: интегрированная интеллектуальная компьютерная среда проектирования объектов углеобогатительной технологии и приборы экологического мониторинга, программное обеспечение АРМов для автоматизации учрежденческой деятельности ОФ (АРМ эколога ОФ, АРМ диспетчера по транспорту ОФ, АРМ маркетинговых исследований и др.), экспертная система синтеза локальной сети АРМов, экспертная советующая система с нечеткой базой знаний для управления ТП, программно-математическое обеспечение АРМа "Диспетчер по транспорту", информационно-справочная и поисковая система для подсистемы "Транспорт" и другие.

В приложении работы приведены расчеты и оценки по эколого-экономической эффективности автоматизации управления, интеллектуализации, нечеткого управления, внешнего (социального) и внутреннего (для предприятия) эколого-экономического ущерба, моделирования и прогнозирования состояния ОПС в окрестности предприятия, моделирования и планирования транспортного узла предприятия(ОФ) и др.

Изложенные в работе результаты получены при выполнении научно-технических тем и программ на кафедре экономической кибернетики Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля по научным направлениям Министерства образования и науки Украины.

В заключении автор выражает искреннюю благодарность коллективу кафедры экономической кибернетики ВНУ им. В. Даля, особую признательность Лысенко Ю.Г – член-корреспонденту НАН Украины, д.э.н., профессору, заведующему кафедрой экономической кибернетики Донецкого национального университета за полезные обсуждения ряда вопросов по данной проблеме, а также профессорам д.э.н. Витлинскому В.В., Галицыну В.К., Клебановой Т.С., Зарубе В.Я., Ковальчуку К.Ф., Порохне В.М., Лященко И.Н., Клиняненко Б.Т., Бузько И.Р., профессору д.т.н. Ульшину В.А и другим коллегам за поддержку и помощь в данной работе.

Автор надеется, что данная работа будет полезной для научных работников НИИ, преподавателей ВУЗов, специалистов органов государственного управления разных уровней, аспирантов, студентов и всех, кто интересуется проблемами эколого-экономического моделирования и управления, а также кто желает видеть свое будущее безопасным и комфортным.

Автор с благодарностью учтет все замечания и предложения и просит их прислать по адресу rsk@ec.snu.edu.ua.

Список условных обозначений и сокращений:

АРМ – автоматизированное рабочее место.

АСУ – автоматизированная система управления.

АСОДУ – автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления.

АСОЭУ - автоматизированная система организационно-экономического управления.

БЗ – база знаний.

ИАСУ – интегрированная автоматизированная система управления.

ИС – информационная система.

ИТ – информационные технологии.

ЛВС – локальная вычислительная сеть.

ЛПР – лицо, принимающее решение.

НС – нейронная сеть.

ОС – окружающая среда.

ОФ – обогатительная фабрика.

ПДК – предельно допустимая концентрация.

ППНТ – промышленное предприятие непрерывного типа.

ОПС – окружающая природная среда.

ПС – производственная система.

ПТК – производственно-транспортный комплекс.

ПФ – производственная функция.

ПЭС - производственно-экономическая система.

РЭ – рыночная экономика.

Система типа «Х» - ИКС - интегрированная интеллектуальная компьютеризованная система.

СППР – система поддержки принятия решений.

СЭЭМ – система эколого-экономического мониторинга.

ТП – технологический процесс.

ТПП – техногенное промышленное предприятие.

ТС – технологическая схема.

ТЭЭК – технолого-экономико-экологический критерий.

ЭММ – экономико-математическое моделирование.

ЭС – экономическая система.

ЭЭМУ – эколого-экономическое моделирование и управление.

ЭЭС – эколого-экономическая система.

ЭЭУ – эколого-экономическое управление.

РАЗДЕЛ 1

МЕТОДОЛОГИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

1.1. Концепция эколого-экономического управления производственно системой в условиях нестабильной экономики

В современных условиях трансформации экономики и перехода к рыночным отношениям функционирование и развитие производственных систем (ПЭС, предприятий) характеризуются нестабильностью, нелинейностью и динамичностью основных показателей и параметров. На финансово-производственную систему предприятия влияет большое количество возмущений конъюнктурного, инфляционного, социального и другого характера, что приводит к потерям предприятием финансовой стойкости, уменьшения объемов производства, снижения спроса на производимую продукцию и т.д. Поэтому нужно иметь эффективную систему управления и принятия оперативных решений. Актуальным направлением решения этой проблемы является разработка гибкой системы интеллектуального управления предприятием, которая позволяет оперативно диагностировать неблагоприятно состояние финансово-производственной системы предприятия и своевременно приводить в действие механизмы, которые возвращают систему к равновесию [1-4]. При этом основным ресурсом управления предприятием становится информация, которая выполняет интегрирующую роль и является необходимой составляющей при использовании всех других ресурсов. Созданию каждого продукта или услуги предшествует создание информационного продукта, но не каждый информационный продукт принимает участие в материальном производстве.

Все это предопределяет применение для управления предприятием информационных технологий, которые должны быть реализованы с учетом «НЕ-факторов» [1,2,4]. При высокой динамичности и нестабильности внешней среды возникает необходимость применения методов и подходов новой науки управления, концентрирующей свое внимание на теории сложных систем и нелинейной динамики, с помощью которой сложные системы управления могут эффективно справляться с неопределенностью и быстрыми изменениями. Разработка и использование современных ИТ для управления предприятием основываются на внедрении интегрированной технологии обработки информации в условиях использования современных ИТ и создании математических методов и средств компьютерного моделирования. В работе ИТ управления предприятием реализуются путем создания интегрированной интеллектуальной компьютеризированной системы на основе использования экономико-математических методов, компьютерной техники и средств коммуникации, т.е. реализуют принципиально новую платформу управления, что основывается на интеграции управленческой информации посредством механизма обобщения

информационной базы данных и знаний. Проблема комплексной автоматизации управления в современных условиях стала более актуальной для каждого предприятия. Реальным и возможно единственным путем преодоления кризиса в теории управления сложными системами является стимулирование интеграционных процессов и развитие современной прикладной теории управления, которая должна учитывать экономические, социальные, экологические требования, безопасность, энергосбережения и многое другое. Обострение опасности техногенных и природных катастроф предъявляет к современной прикладной теории управления весьма жесткие требования. При этом особо следует подчеркнуть, что учет процессов самоорганизации необходим для обеспечения безопасности. Поэтому важное значение для решения проблемы снижения вредного воздействия производственной деятельности производственно-транспортных комплексов на окружающую природную среду в условиях учета рыночных процессов приобретает создание интегрированной интеллектуальной автоматизированной системы экологического мониторинга, управления технологическими процессами углеобогащения и принятия управленческих эколого-экономических решений на основе принципов системного и комплексного подхода и методов математического моделирования и идентификации, статистической обработки информации, систем управления базами данных и знаний, методов современной теории управления (в том числе с нечеткой логикой) и компьютерных технологий [1-4]. Необходимо, чтобы разрабатываемые системы удовлетворяли всем основным принципам, требованиям и стандартам создания систем эколого-экономического мониторинга (СЭЭМ) и управления и были применимы для аналогичных предприятий при создании локальных и региональных СЭЭМ. Любой производственно-транспортный комплекс (ПТК) является разновидностью производственно-экономической системы, т.к. любая экономическая система может быть представлена как совокупность ресурсов и процессов, т.е. $\mathcal{E}S = \langle r, p \rangle$, где $r \in R$ – совокупность ресурсов, а $p \in P$ – совокупность процессов преобразований и обработки, причем в качестве p обычно выступает как производственно-информационные, так и транспортные процессы. В условиях трансформации экономики как и множество R , так P функционирует в условиях нестабильной и трудноформализуемой информации, информационной неопределенности и рисков. ПТК можно также представить как взаимосвязанная структура, состоящая из производственной подсистемы (П), транспортной подсистемы (ТС) и системы управления (СУ): $\text{ПТК} = \langle \text{П}, \text{ТС}, \text{СУ} \rangle$. ПТК - динамичный микроэкономический объект, который функционирует во времени и пространстве макроэкономической среды.

Концептуальная модель эколого-экономического управления производственной системой в условиях наличия множества «НЕ-факторов» можно представить в виде теоретико-множественной модели как кортеж:

$$\langle X, Y, F, H, G, K, \Omega, R, U, E, T \rangle,$$

где $Y = \langle Y^{\text{эkn}}, Y^{\text{экл}} \rangle$ - общий выход ПС, причем $Y^{\text{эkn}}$ - продуктивное множество (т.е. «полезный выход»), а $Y^{\text{экл}}$ - множество загрязнений (т.е. «вредный выход»);

X - множество возможных состояний ПС;

$F = \langle F^{\text{эkn}}, F^{\text{экл}} \rangle$ - модельное отображение ПС;

$H = \langle H^{\text{эkn}}, H^{\text{экл}} \rangle$ - общий оператор наблюдений (измерений);

G - целевое множество;

K - обобщенный ЭЭК;

Ω - множество ограничений;

R - ресурсное множество (т.е. основной вход ПС);

$U = \langle U^{\text{эkn}}, U^{\text{экл}} \rangle$ - множество ЭЭУ (управляющих воздействий);

E - множество неопределенных возмущений (как внешних, так и внутренних, т.е. как аддитивных, так и мультипликативных), в частности это множество стохастической, нечеткой, множественной или смешанной неопределенности;

T - временной интервал функционирования и развития ПЭС.

Обозначения «эkn» и «экл» - означают соответственно, экономическая и экологическая переменная.

Таким образом, задача ЭЭУ ПС состоит в определении эффективного обобщенного вектора управления $U = \langle U^{\text{эkn}}, U^{\text{экл}} \rangle$ на основании динамической эколого-экономической модели ПС, который обеспечивает выполнения цели G при заданном обобщенном эколого-экономическом критерии K и ограничениях Ω с учетом условий неопределенностей и рисков.

О взаимодействии и взаимозависимости экономики и экологии. В современном мире социально-экономические, технологические и биомедицинские процессы создали принципиально новую экологическую ситуацию, которая характеризуется следующим образом: становится все более отчетливым и осознанным понимание того факта, что окружающая среда и ее ресурсы имеют ограниченный характер; ограниченность ресурсов ОС ставит перед хозяйственной деятельностью некую предельность допустимых на нее нагрузок, превышение которых может вызвать нежелательные необратимые изменения в равновесии и функционировании ОС и ее объектов; повышается роль ОС в экономической жизни, усиливается взаимопроникновение, слияние и сращивание экономики и ОС. Все это создает объективную основу для анализа состояния и разработки новых методов и моделей управления производственно-экономической и транспортной системой как единой эколого-экономической системой. При создании систем эколого-экономического мониторинга важно также широкое внедрение современных информационных технологий и систем.

«Экономика не ограничивается созданием материальных ценностей, а экология не относится только к охране природы: оба понятия в равной мере касаются улучшения судьбы человечества» (Конференция ООН по ОС в Рио-де-

Жанейро (1992 г.). Из теории ноосферы В. И. Вернадского вытекает важный принцип совместной коэволюции общества и природы, необходимости гармоничного совместного развития человечества и биосферы. Экономическая система в целом есть система производства, распределения и потребления товаров и услуг. В рамках данных процессов постоянно происходит взаимодействие общества и природы. Любое производство и потребление связано с использованием природных ресурсов и взаимодействием на ОС. Любое экономическое решение также оказывает влияние на среду обитания в самом широком смысле этого понятия.

Характерным признаком прошлого века было неудержимое стремление человечества к обеспечению экономического и технологического развития. Успех измерялся преимущественно ростом валового внутреннего продукта. Считалось, что это автоматически приведет к благосостоянию и значительному повышению уровня жизни людей. Блестящая внешность прогресса почти всегда обеспечивалась за счет беспощадной эксплуатации и обеднения окружающей среды, экспансии «закона джунглей» — кто сильнее, тот и выживет. В сущности, такие неотделимые сферы, как экономика, окружающая среда и общественные институты, функционировали изолированно друг от друга. Начала разрушаться сама естественная основа существования и внутреннего мира человека. Общество такого типа фактически жило за счет будущих поколений. Как следствие - в начале XXI века мир столкнулся с глобальными экологическими проблемами, голодом и обнищанием большинства населения земного шара, деградацией морали, ростом региональных и межэтнических конфликтов, терроризмом.

Эти обстоятельства вынудили прогрессивную международную общественность и известные негосударственные международные организации, такие как Римский клуб (с его знаменитым трудом «Пределы роста»), Международный институт прикладного системного анализа (IIASA, Лаксембург, Австрия), Международная федерация институтов перспективных исследований и другие, по-новому подойти к преодолению указанных глобальных проблем. Этот подход получил название — концепция устойчивого развития (sustainable development). Он в значительной степени стал продолжением концепции ноосферы, сформулированной академиком В.И. Вернадским еще в первой половине XX века.

Суть его состоит в обязательной согласованности экономического, экологического и человеческого развития таким образом, чтобы от поколения к поколению не уменьшались качество и безопасность жизни людей, не ухудшалось состояние окружающей среды и происходил социальный прогресс, учитывающий потребности каждого человека.

Для Украины, находящейся в поиске своего пути, очень важно не сделать принципиальных ошибок. Риск состоит в том, что значительно легче отдать предпочтение успешному «шаблону», в частности внешне привлекательному экономическому развитию, без учета в единой, целостной модели экологической и социальной сфер. Тем более что воплощение концепции устойчивого развития не будет гарантировать быстрого роста благосостояния людей, а будет требовать напряженной работы и консолидированных усилий политиков, управленцев,

ученых и всего прогрессивного населения Украины. Еще одним условием устойчивого развития является политическая воля со стороны высшего руководства государства, чтобы пойти по трудному, но единственно правильному пути.

В основе любого экономического развития лежат три фактора экономического роста: трудовые ресурсы, искусственно созданные средства производства (капитал или искусственный капитал), природные ресурсы. В последнее время логический фактор стал все больше лимитировать экономическое развитие. Техногенный тип экономического развития — как природоёмкий (природоразрушающий) тип развития, базирующийся на использовании искусственных средств производства, созданных без учета логических ограничений. Обобщенную структуру СЭЭС можно представить в следующей форме (рис.1.1.):

Обобщенную синергетическую модель управления динамикой нелинейной ЭЭС с учетом стохастичности и хаотичности поведения может быть представлена в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_i = \left[\lambda_i \xi_i(t) x_i(t) \left[X^0 \pm \sum_{j=1}^n a_{ij}(t) \prod_{k=1}^j x_k(t) \right] + \sum_{l=1}^3 d_{il} \frac{\partial^2 x_i}{\partial r_l^2} + w_i \right] + b_i u_i(t), \quad i = \overline{1, n},$$

$$\bar{x}_i(0) = x_{i0}, \quad (1.1)$$

где: $\langle \xi_i, w_i \rangle$ – стохастические возмущающие составляющие модели (как внутренние, так и внешние, т.е. мультипликативно-аддитивная смесь возмущений); $\{a_{ij}(t)\}$ – нестационарные составляющие модели; $\{d_{il}\}$ – диффузионные (распределяющие) коэффициенты; X^0 – предельная величина; λ_i – параметры, которые обуславливают хаотичность поведения системы.

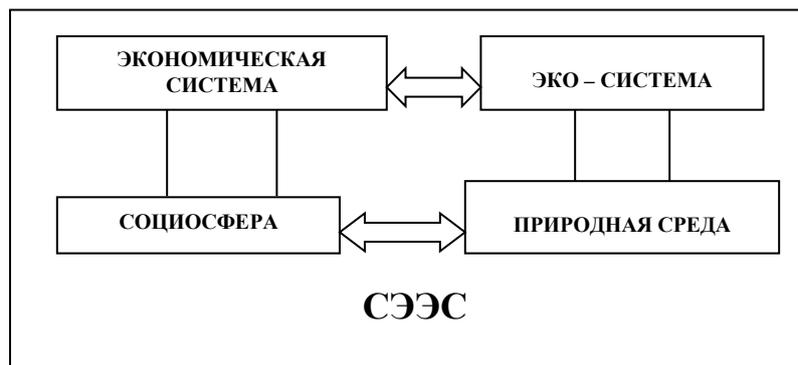


Рис. 1.1. Обобщенная структура СЭЭС.

Такая обобщенная модель позволяет также учесть и то, что как риск, так и уровень безопасности имеют свою динамику и являются стохастическими процессами, а не одномоментными величинами. Например, динамическая модель системы можно задать в виде уравнений $\dot{x} = F(x, u, v, \xi)$; $\dot{v} = g(v, t, \lambda)$, а уравнения наблюдений(измерений) как: $Y_x = h_x(x, \zeta_x, t)$, $Y_z = h_z(x, \zeta_z, t)$ и аналогично могут

быть заданы другие модели измерений/наблюдений, причем система уравнений обобщенной эколого-экономической модели можно представить как:

$$\begin{aligned}\dot{k} &= g^k(k, m, N, \tau, z, pr, \lambda), \quad \dot{m} = g^m(k, m, N, \tau, z, pr, \lambda), \\ \dot{N} &= g^N(k, m, N, \tau, z, pr, \lambda), \quad \dot{\tau} = g^\tau(k, m, N, \tau, z, pr, \lambda), \\ \dot{z} &= g^z(k, m, N, \tau, z, pr, \lambda),\end{aligned}\quad (1.2)$$

где $x(t)$ – вектор состояния ПЭС, причем $x = (x_1, \dots, x_n)$; $y = y(t)$ – вектор выхода (продукция – полезный выход); $u = u(t)$ – вектор управляющих воздействий (переменных); $v = (k, m, N, pr, \tau)$ – вектор входных переменных x ; $k = k(t)$ – вектор количественных переменных; $m = m(t)$ – вектор монетарных переменных (финансы); $N = N(t)$ – информационный поток; $\tau = \tau(t)$ – вектор технологий (знаний); $z = z(t)$ – вектор загрязнений (вредный выход), $pr = pr(t)$ – природные ресурсы.

Схему распределение i – го конечного продукта предприятия (или продукт i – го предприятия) в упрощенной форме можно представить как функцию вида: $Y_i(t) = I_i(t) + C_i(t) + Z_{iz}(t) + Z_{i\sigma}(t)$, $i = 1, 2, \dots, n$, где Y_i – общий объем выпуска (в денежном выражении), I_i – инвестиционный поток, C_i – поток потребления, Z_{iz} – объем затрат на мониторинг загрязнений и природоохранные мероприятия, $Z_{i\sigma}$ – объем затрат на систему обеспечение безопасности ПЭС.

Обобщенный стохастическая производственная функция предприятия есть оператор $Y_i(t) = F_i[K_i, L_i, I_{ih}, \tau_i, CC_i, U_i, \xi_i]$, а для интегральной модели динамики ПС в качестве координат вектора состояния и факторов влияния можно использовать следующие переменные: K_i – объем фондов, L_i – труд, I_{ih} – поток инвестиций, Z_i – поток загрязнений, S_i – поток угроз, опасностей и рисков (внешних S_i^1 и внутренних S_i^2), τ_i – банк технологий (знаний), CC_i – поток социальных факторов, U_i – поток управленческих решений, а ξ_i – стохастические возмущающие воздействия внешней среды.

Соответствующая динамическая модель предприятия теперь представляется как система дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}\dot{K}_i &= f_{iK}(K_i, L_i, I_{ih}, \tau_i, T\tau_i, U_i, \xi_i), \quad \dot{L}_i = f_{iL}(K_i, L_i, I_{ih}, \tau_i, T\tau_i, U_i, \xi_i), \\ \dot{I}_{ih} &= f_{iI}(K_i, L_i, I_{ih}, \tau_i, T\tau_i, U_i, \xi_i), \quad \dot{Z}_i = f_{iZ}(K_i, L_i, I_{ih}, \tau_i, T\tau_i, U_i, \xi_i), \\ \dot{S}_i &= f_{iS}(K_i, L_i, I_{ih}, \tau_i, T\tau_i, U_i, \xi_i), \quad \dot{\tau}_i = f_{i\tau}(K_i, L_i, I_{ih}, \tau_i, T\tau_i, U_i, \xi_i).\end{aligned}\quad (1.3)$$

При этом для основных технико-экономических переменных вектора состояния можно записать $\dot{K}_i = -\mu_i(\tau_i, T\tau_i, U_i)K_i + v_{ih}$, где μ_i – коэффициент амортизации, зависящий от используемых технологий и принимаемых решений; $v_{ih} = H_i(I_h, \chi_i, S_i, CC_i, L_i, K_i, \xi_i)$ – темпы внедрения новых фондов, который определяется оператором H_i , зависящим от ранга выделенных инвестиций I_h ,

функции распределения выделенных инвестиций по времени внедрения χ_i и сложившейся социально-экономической ситуации на предприятии. При этом для описания динамики развития рабочего потенциала можно воспользоваться уравнением $\dot{L}_i = a_{Li}Q_i + b_{Li}T\tau_i + \xi_i + U_i$, где Q_i - темпы изменения масштаба производства при сложившейся технологии и социально-экономической обстановки на предприятии $Q_i = Q_i(\bar{K}_i, \tau_i, T\tau_i, CC_i)$, $T\tau_i$ - темпы совершенствования технологии, которые определяются использованием уровнем интеллектуализации в системе управления, наличием банка технологий знаний и темпами инвестиций, т.е. $T\tau_i = T\tau_i(\tau_i, I_{ih})$. Заметим, что коэффициенты $a_{Li} \geq 0$, $b_{Li} \leq 0$, в зависимости от целей и направленности используемых средств банка знаний и технологий. Параметры ξ_i и U_i отражают стохастичность внешней среды и управляющие воздействия.

Динамику изменения потока инвестиций можно представить как

$$\dot{I}_{ih} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{d\sigma}{dt} \varphi_j(K_j, L_j) + \sigma \left(\frac{\partial \varphi_j}{\partial K_j} \dot{K}_j - \frac{\partial \varphi_j}{\partial L_j} \dot{L}_j \right) \right],$$

где $\sigma = \sigma(U_{is}, S_i, C_i)$ - нормативные координаты отчислений капитала на инвестиции, которые определяются не только управляющими воздействиями, но и потоком угроз, опасностей и рисков; $\varphi_i = \varphi_i(K_i, L_i)$ - производственные функции, значения которых определяются объемом задействованных производственных ресурсов (K_i, L_i) .

Для формирования уравнения, описывающего динамику потока загрязнений, необходимо в фондах выделить ту их часть, которая работает на снижение загрязнений - K_{zi} . Тогда можно записать, что: $\dot{Z}_i = a_{zi}\dot{K} - b_{zi}I_{ih} + \xi_i$, где $a_{zi} = a_{zi}(K_i, K_{zi}, I_z)$ - коэффициент, учитывающий физико-химические возможности по снижению объемов загрязнений существующими технологиями. Следует отметить, что a_{zi} имеет сугубо нелинейный характер, а при достижении критических соотношений между параметрами K_i и K_{zi} , которые являются бифуркационными параметрами, $I_{ih} = I_{ih}(\dot{I}_z, T, \tau_i)$ - темпы внедрения новейших технологий, которые зависят от инвестиционных процессов в охране технологии, внедряемых новых производственных процессов и потока новых технологий и знаний, коэффициент $b_{zi} > 0$.

Отметим, что в анализируемых уравнениях, подавляющая часть коэффициентов, функций и операторов являются принципиально нелинейными типа скачка (которые обычно могут привести у неустойчивому или хаотическому характеру).

Вариант эколого-экономической модели ПЭС. Так как приращение (рост) загрязнения равняется разности между объемом произведенного загрязнения и объемом уничтоженного загрязнения за счет непосредственной борьбы (охраны) с ним, так и в результате естественной убыли (ассимиляции), динамику загрязнения в общем виде можно описать следующим дифференциальным уравнением:

$$\dot{Z} = Z^+ - Z^-, \quad (1.4)$$

где для одной ПС $Z^+ = \mathcal{J}f(k)$, $Z^- = \lambda(1 - \alpha - \beta)f(k) + \delta z$, а для региональной экономики в целом (в случае взаимной независимости ПС) –

$$Z^+ = \sum_1^n \gamma_i f_i(k_i), \quad Z^- = \lambda \sum_1^n (1 - \alpha_i - \beta_i) f_i(k_i) + \delta z.$$

Вариант задачи оптимального управления ПЭС. Пусть норма накопления $\rho = \alpha = \alpha(t)$ - переменная величина. Тогда удельное потребление есть

$$c(t) = (1 - \alpha(t))(1 - a)f(k) = (1 - a)f(k) - \alpha(t)(1 - a)f(k) \text{ или} \\ \alpha(1 - a)f(k) = (1 - a)f(k) - c(t).$$

Следовательно, уравнение динамики фондов примет вид

$$\dot{k} = -(\mu + \nu)k + \alpha(1 - a)f(k) = -(\mu + \nu)k + f(k) - c, \text{ или} \\ \dot{k} = f(k) - (\mu + \nu)k - c(t), \quad k(0) = k_0. \quad (1.5)$$

В частности, если $Y = F(K, L)$, $Y = I + C$, то динамическая модель изменения фондов с учетом запаздывания инвестиционных потоков (с распределенным лагом и когда функции ядра $h(t - \tau) = h_0 \exp(-r(t - \tau))$, т.е. для стационарного случая) примет следующий вид (1.6). При этом заметим, что поток инвестиций также является стохастическим процессом.

$$\begin{cases} \dot{K} = -\mu K + I_h(t), & K(0) = K_0, \\ \dot{L} = \nu L \text{ или } L = L_0 e^{\nu t}, & L(0) = L_0, \text{ или} \\ \dot{I}_h = -r I_h + h_0 I, & I_h(t_0) = h_0 I(t_0). \end{cases} \\ \begin{cases} \dot{k} = -(\mu + \nu)k + i_h(t), & k(0) = k_0, \\ (\dot{i}_h)' = -(r + \mu + \nu)i_h + h_0 \rho f(k), & i_h(0) = i_{h0}, \\ c = (1 - \rho)f(k), & (\rho \equiv \alpha). \end{cases} \quad (1.6)$$

Уравнение (1.6) является основной динамической моделью управляемой ПС и в качестве управляющей переменной можно взять удельное потребление $c(t) = C(t)/L(t)$ или норма накопления ρ , а переменная состояния - $k(t)$ – фондовооруженность, т.е. $k(t) = K(t)/L(t)$.

Как показано в [1] нелинейную динамическую модель системы при логистическом характере изменения L имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{k}(t) = \alpha f(k) - n_0(1 - \eta(t))k(t), & k(t_0) = k_0, \\ c(t) = (1 - \alpha)f(k), \\ \dot{\eta}(t) = n_0 \eta(t)(1 - \eta(t)), & \eta(t) \equiv L(t)/L_{\max}, \\ \eta(t_0) = L_0 / L_{\max}. \end{cases}$$

Для ПС в качестве эколого-экономической модели динамики можно рассмотреть уравнения (1.4) и (1.5) (или (1.6) с вектором состояния $x = (k, z)$ и управляющим вектором параметров (переменных) $u = (\alpha, \beta)$. Теперь задачу

оптимального управления ПС может представлена в следующей постановке. Пусть интегральная модель динамики ПС есть – (1.4), (1.5). В качестве функции полезности можно рассматривать функцию $U(q) \equiv U(k, z, \alpha, \beta) \equiv U(x, u)$, а функционал эффективности - $J(q) = \int_{t_0}^T \exp(-\delta t) U(q(t)) dt$ и критерий оптимального управления - $J(q) \rightarrow \max_{q \in Q} (opt)$ при ограничениях: $0 \leq \alpha, \beta \leq 1, \alpha + \beta \leq 1$ }, а также

$$Q = \{(\alpha, \beta, k, z) \mid 0 \leq \alpha, \beta \leq 1; \alpha + \beta \leq 1, k(t_0) = k_0, z(t_0) = z_0\} \quad \text{или}$$

$$Q = \{(\alpha, \beta, k, z) \mid k(t_0) \in K_0, k(T) \in K_T, z(t_0) \in Z_0, z(T) \in Z_T.$$

Для решения подобных задач оптимизации управленческих решений можно воспользоваться большим арсеналом разработанных к настоящему времени методов, например, методами, основанными на вариационных принципах, методом динамического программирования (принцип оптимальности Беллмана), принцип максимума Понтрягина, метод функции Ляпунова, методом, основанном на критерии обобщенной работы Красовского[133] и т.д.

Отметим при этом, что актуализация синергетического подхода (парадигмы) в социально-экономических системах связана с особенностями современной эпохи – экологические кризисы, информационные и демографические взрывы, невиданные социальные и экономические потрясения, интенсивная трансформация общественных институтов, всей социально-культурной сферы приводит к возрастанию нестабильности и неустойчивости процессов функционирования и развития. Синергетический подход к развивающимся системам сейчас уже прочно зарекомендовал себя. Одним из основных методов этого подхода (как и в кибернетике) является математическое моделирование и использование современных информационных технологий. Его необходимость в социально-экономических системах обсуждаются уже давно, хотя не всегда в явной форме. Однако бурное развитие оно получило сравнительно недавно.

Сегодня экономическая и экологическая ситуация требует решения новых и актуальных задач. При этом разрабатываемые математические модели исследуемых процессов должны обладать рядом важных свойств, в частности: модель должна учесть факторы переходной и формирующейся рыночной экономики с учетом социального («человеческого») фактора (через госрегулирование), т.е. с учетом коллективного поведения людей (как в активных системах); модель должна служить для прогнозирования и управления; модель должна давать адекватное и понятное описание механизмов трансформаций и переходных процессов; модель должна быть структурно устойчивой и много др. Модели, удовлетворяющие указанным и другим условиям, могут быть использованы как инструмент для принятия стратегических эколого-экономических решений для предприятий, региона, страны.

К сожалению, большинство предлагаемых моделей не удовлетворяют некоторым приведенным выше требованиям.

В ряде случаев основной причиной возникновения нестабильностей (экономико-экологической, социальной и т.п.) является сложность исследуемых

процессов и систем из-за наличия нелинейностей, неопределенностей, расплывчатости информации и рисков.

Данная работа является некоторым обзором полученных результатов автора последнего времени и посвящена актуальной проблеме разработки методов, моделей и информационных технологий экономико-экологического управления производственной системой, функционирующей в условиях нестабильной внутренней и внешней среды.

В работе рассмотрена проблема создания системы эколого-экономического моделирования и управления предприятием, модель которого описана в общем виде и управление заключается в определении вектора компонент принимаемых эколого-экономических решений, обеспечивающий безопасное функционирование и развитие предприятия. Предложенная интегрированная система эколого-экономического мониторинга и управления безопасностью ПС включает в свою структуру подсистему интеллектуального управления, подсистему поддержки принятия решений, подсистему наблюдений и измерений, подсистему обработки информации, подсистему экономико-экологического мониторинга, подсистему управления экономической безопасностью. Учитываются следующие потоки (переменные): переменные ресурсов, переменные информации, управленческие переменные, стохастические возмущающие переменные, переменные угроз и опасностей (как внешних, так и внутренних), переменные загрязнения, поведенческие переменные и др.

При всем этом очень важно отметить, что в современной экономике проблема охраны окружающей природной среды в техногенных регионах страны приобретает первостепенное (глобальное) значение. Различными ведомствами за многие годы создано громадное количество ценнейшей информации о состоянии окружающей среды. Например, в СНГ существует более 1500 станций и постов контроля, наблюдающих за загрязнением атмосферного воздуха (приблизительно в 500 городах и населенных пунктах), за загрязнением внутренних водоемов — около 4000, за загрязнением моря — более 2000 постов контроля и т.д. Однако обострение экологической и радиационной ситуации привело к срочной необходимости дальнейшего усиления и качественно нового подхода к созданию системы экологического мониторинга, контроля и принятия обоснованных управленческих решений, направленных на улучшение и стабилизацию экологической обстановки в целом.

При этом из числа промышленных регионов Украины Донбасс, несмотря на принимаемые меры, на сегодняшний день остается наиболее неблагоприятным с точки зрения экологической ситуации. Основными виновниками такой обстановки являются промышленные предприятия, плотность размещения которых самая высокая из всех областей Украины. Значительным источником загрязнения ОПС является производственная деятельность предприятий типа углеобогатительных фабрик (т.е. ее производственно-транспортный комплекс — ПТК) (рис.1.2).

Наиболее интенсивными являются пылегазовые выбросы и сточные воды. Основными видами загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, является угольная и породная пыль, оксид углерода, двуоксиды азота и серы и

сероводород. Производственные сточные воды содержат твердые частицы минерального и органического происхождения, а также растворенные минеральные соли: хлориды, нитраты, нитриты, сульфаты и др.

По-видимому, в обозримом будущем сохранится тенденция увеличения объемов обогащения углей с одновременным ростом их зольности, поэтому будет постоянно увеличиваться выпуск породы и особенно отходов флотации из-за увеличения охвата обогащением мелких классов угля. Следствием этого будет рост количества угля, подвергаемого сушке, и соответствующее увеличение выбросов в атмосферу угольной пыли и вредных газов, поскольку термическая сушка является наиболее интенсивным источником загрязнения окружающей среды из всех технологических процессов обогатительных фабрик.

Фундаментальным решением проблемы сокращения вредных выбросов при углеобогащении в перспективе является создание новой экологически чистой безотходной технологии, например, переработка угля в жидкое или газообразное состояние химическими или биологическими методами. В ближайшее время, по-видимому, найдут применение менее радикальные, но достаточно эффективные методы, например, такие как строительство подземных обогатительных фабрик, использование отходов обогащения в строительной индустрии, создание более совершенного оборудования, автоматический контроль за источниками загрязнения, а также автоматическая оптимизация технологических процессов с целью сокращения вредных выбросов.



Рис. 1.2. Источники загрязнения окружающей природной среды в результате производственной деятельности ПЭС.

Потребности в угле как энергоносителе и химическом сырье непрерывно возрастают, поэтому совершенствование методов его переработки и повышение их эффективности являются актуальными проблемами народного хозяйства.

Процессы переработки угля постоянно усложняются, характеризуются значительной мощностью потоков материалов и энергии, высокой стоимостью товарных продуктов, вредным воздействием на окружающую среду. Неполное использование возможностей технологических процессов и оборудования приводят к значительному экономическому ущербу и снижению экологической безопасности.

Одним из направлений развития угольной промышленности является создание автоматизированных процессов и производств, обеспечивающих оптимизацию их функционирования в непрерывно меняющихся условиях и снижающих уровень загрязнения окружающей среды. Опыт автоматизации обогатительных фабрик показал ее высокую эффективность, обусловленную специфическими особенностями горного производства, в частности: ростом эколого-экономического ущерба от неоптимального использования техники и технологии, простоев по организационным причинам и потерь полезных продуктов с отходами; невозможностью оперативной обработки информации о ходе производственных процессов при их ручном управлении, приводящей к потерям ее ценности, достоверности и полноты; значительными экономическими потерями из-за аварий оборудования, задействованного в производственном процессе взаимосвязанных машин; высокой стоимостью поступающего на обогащение угля; зависимостью эффективности работы фабрики от субъективных качеств управляющего и обслуживающего персонала.

В связи с этим автоматизация технологических процессов и производства в целом приобретает все возрастающее значение, так как она призвана обеспечить повышение производительности, улучшить качество продукции, снизить потери угля с отходами, решить социальные проблемы повышения безопасности и загрязнения окружающей среды, снижения трудоемкости и улучшения условий труда, повышения его престижа и интеллектуального содержания.

Отметим, что в Украине внедрена АСУ лишь на одной фабрике (ЦОФ "Свердловская"), функционирующая в информационном режиме. Научный уровень технических решений и общий подход в таких АСУ не соответствуют современному уровню и требованиям, так как не автоматизированы функции принятия управленческих решений при нечеткой информации и в условиях смешанной неопределенности, не используется опыт и знания специалистов, отсутствуют проблемы создания средств и методов эколого-экономического управления и мониторинга.

Важно также отметить, что реальным и возможно единственным путем преодоления кризиса в теории управления сложными системами является стимулирование интеграционных процессов и развитие современной прикладной теории управления, которая должна учитывать экономические, социальные, экологические требования, безопасность, энергосбережения и многое другое. Конечно, и в других областях науки и технологии обязаны учитываться эти требования, но потенциальные возможности автоматизации в сочетании с физической теорией управления, информационными технологиями, микроэлектроникой. Обострение опасности техногенных и природных катастроф предъявляет к современной прикладной теории управления весьма жесткие

требования. При этом особо следует подчеркнуть, что учет процессов самоорганизации необходим для обеспечения безопасности [54].

Поэтому важное значение для решения проблемы снижения вредного воздействия производственной деятельности предприятия на ОПС в условиях учета современных рыночных процессов приобретает создание интегрированной интеллектуальной автоматизированной системы экологического мониторинга, управления технологическими процессами углеобогащения и принятия управленческих эколого-экономических решений на основе принципов системного и комплексного подхода и методов математического моделирования и идентификации, статистической обработки информации, систем управления базами данных и знаний, методов современной теории управления (в том числе с нечеткой логикой) и компьютерных технологий [1,7]. Необходимо, чтобы разрабатываемая система удовлетворяла всем основным принципам и требованиям по международному эколого-экономическому мониторингу и была приемлема для аналогичных предприятий при создании региональных систем эколого-экономического мониторинга. При этом заметим, что ПТК является одним из основных компонент логистических систем управления предприятием. Рассмотрение в работе ПТК как логистической системы оправдано тем, что по одному из определений [127]: “логистика – наука о планировании, контроле и управлении транспортированием, складированием и другими материальными и нематериальными операциями, совершаемыми в процессе доведения сырья и материалов до производственного предприятия, внутривозвратной переработки сырья, материалов и полуфабрикатов, доведения готовой продукции до потребителя в соответствии с интересами и требованиями последнего, а также передачи, хранения и обработки соответствующей информации”. Принципиальное отличие логистического подхода к управлению материальными потоками от традиционного заключается в *интеграции* транспортного и производственного процесса в единую систему, способную адекватно реагировать на возмущения внешней среды, т.е. интеграция техники, технологии, экономики, методов планирования и управления потоками.

Процесс перехода к новым экономическим отношениям предусматривает новый этап разработки теоретических и методологических основ для систем управления и принятия экономических решений. Это требует широкого применения новейших методов принятия решений на уровне математического и программного обеспечения с учетом методов современных информационных технологий.

В данной работе, в частности, исследованы и решены следующие задачи [1,2,4]: исследована задача информационного и математического обеспечения систем экономического и экологического управления предприятия с учетом факторов нестабильностей (на примере производственно-транспортных комплексов, типа углеобогащительные фабрики); рассмотрены информационные технологии антикризисного управления предприятием, исследована задача моделирования процессов с хаотической динамикой для ПЭС. Получен ряд новых моделей ЭЭУ предприятием в условиях неопределенностей и рисков, а именно: модель динамики управления предприятием с учетом рисков и

неопределенностей, нелинейная стохастическая модель управления предприятием, подход анализа и моделирования влияния инновационных процессов на развитие предприятия, модели управления риском в условиях смешанной неопределенности, модели оптимизации инвестиционных проектов предприятия в условиях рисков, подход моделирования динамики риска при многокритериальной оптимизации и в условиях неопределенности и другие, вариант решения проблемы интеллектуализации процессов ЭЭУ предприятием в условиях неопределенностей (в том числе смешанной) и рисков, алгоритмы интеллектуального управления предприятием (синтез гибридного управления производственным процессом, фузи-нейронная система гибридного управления предприятием), интеллектуальная система моделирования и управления экономическими рисками, интеллектуальная система диагностики кризисного состояния предприятия, интегральная модель интеллектуального управления производственной системой, основанной на знаниях, нечеткая модель ПЭС в условиях корпоративного управления и другие.

В целом рассматриваются задачи экономико-математического моделирования и управления с учетом «НЕ-факторов» как основа информационных технологий ЭЭУ предприятием. Определены основные проблемы информатизации эколого-экономического моделирования и управления ПС в условиях трансформационной экономики для промышленного предприятия и рассматривается решения этих проблем в динамике при наличии неопределенностей информации, рисков, нелинейностей и нестабильностей.

При этом перспективными направлениями исследований по данной тематике остаются учет ряда новых факторов, в частности, взаимодействие и взаимозависимости исходной ПС с другими ПС; стохастичность модели ПС для ЭЭУ (в том числе нестационарные модели динамики); обобщения производственной функции, т.е. учет информационного ресурса и знаний; эколого-экономические модели, основанные на знаниях; учет угроз и соответствующих ущербов и кризисов (т.е. задача оптимального управления эколого-экономической безопасностью); пространственное распределение переменных состояния в моделях; дискретизация и дискретные модели экономической динамики и др.

1.2. Промышленное предприятие непрерывного типа производства как объект ЭЭМУ

Обобщенная модель ПТК как объекта моделирования и управления. Любое предприятие в общем случае может быть представлено взаимодействующими потоками вещества, энергии и информации. Модель ПТК, в частности, можно представить в следующем виде [7]:

$$Y = L\{X, U, Z\}, \quad (1.7)$$

где $X = (x_1, x_2, \dots, x_8)$ — вектор входных материальных потоков; $U = (u_1, u_2, u_3)$ — вектор информационных потоков; $Z = (z_1, z_2)$ — вектор входных

энергетических потоков; $Y = (y_1, \dots, y_4)$ — вектор выходных материальных потоков; L — оператор преобразования входных потоков X, Z, U в выходные Y .

В представленном операторе координаты входных и выходных векторов имеют следующий смысл: x_1 — поступающий на ПТК рядовой уголь; x_2 — воздух, используемый для обогащения и обработки продуктов; x_3 — чистая вода из природных источников; x_4 — топливо (мазут, газ и др.); x_5 — электроэнергия; x_6 — магнетит для тяжелосреднего обогащения; x_7 — реагенты для флотации и флокуляции; x_8 — порожние транспортные средства (вагоны, автомобили); z_1 — расход электроэнергии; z_2 — расход топливной энергии; u_1 — информация о сырьевой базе; u_2 — информация от вышестоящего уровня управления; u_3 — информация о состоянии рынка сбыта продукции; y_1 — выпуск товарных продуктов; y_2 — выпуск отходов обогащения; $y_3 = (C_1, C_2, \dots, C_6)$ — вектор выбросов вредных веществ в атмосферу: C_1 — угольная и породная пыль; C_2 — диоксид серы (сернистый ангидрид, SO_2); C_3 — сероводород (H_2S); C_4 — оксид углерода (CO); C_5 — диоксид углерода (CO_2); C_6 — оксид азота (NO); y_4 — сбросы ливневых и талых вод.

На рис.1.3 приведена обобщенная структура ОФ (ПТК), реализующая оператор (1.7). При этом некоторые компоненты векторов X, Y, U, Z представляют собой также векторы с компонентами родственных понятий:

$$x_1 = (x_{11}, \dots, x_{m1}), \dots, x_7 = (x_{17}, \dots, x_{n7}), x_8 = (x_{18}, \dots, x_{p8}); u_1 = (u_{11}, \dots, u_{q1}), u_2 = (u_{12}, \dots, u_{g2}), \\ u_3 = (u_{13}, \dots, u_{h3}); y_1 = (y_{11}, \dots, y_{d1}), y_2 = (y_{12}, \dots, y_{e2}), y_3 = (y_{13}, \dots, y_{e3}), y_4 = (y_{14}, \dots, y_{f4}),$$

где $m, n, p, q, g, h, d, e, f$ — количество компонент в соответствующих векторах.

ПТК функционирует во взаимосвязи с окружающей средой, потребляя природные ресурсы, занимая земельные площади и выделяя в нее товарные продукты, отходы, вредные выбросы, нефтепродукты, а также твердые частицы со сточными водами.

Качество товарных продуктов также оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду при сжигании (химсостав золы, содержание в угле серы, фосфора и др.) Земельные участки, занятые под промплощадку фабрики, породные отвалы и илонакопители являются источниками загрязнения окружающей среды (пыль, газ от возгорания и др.).

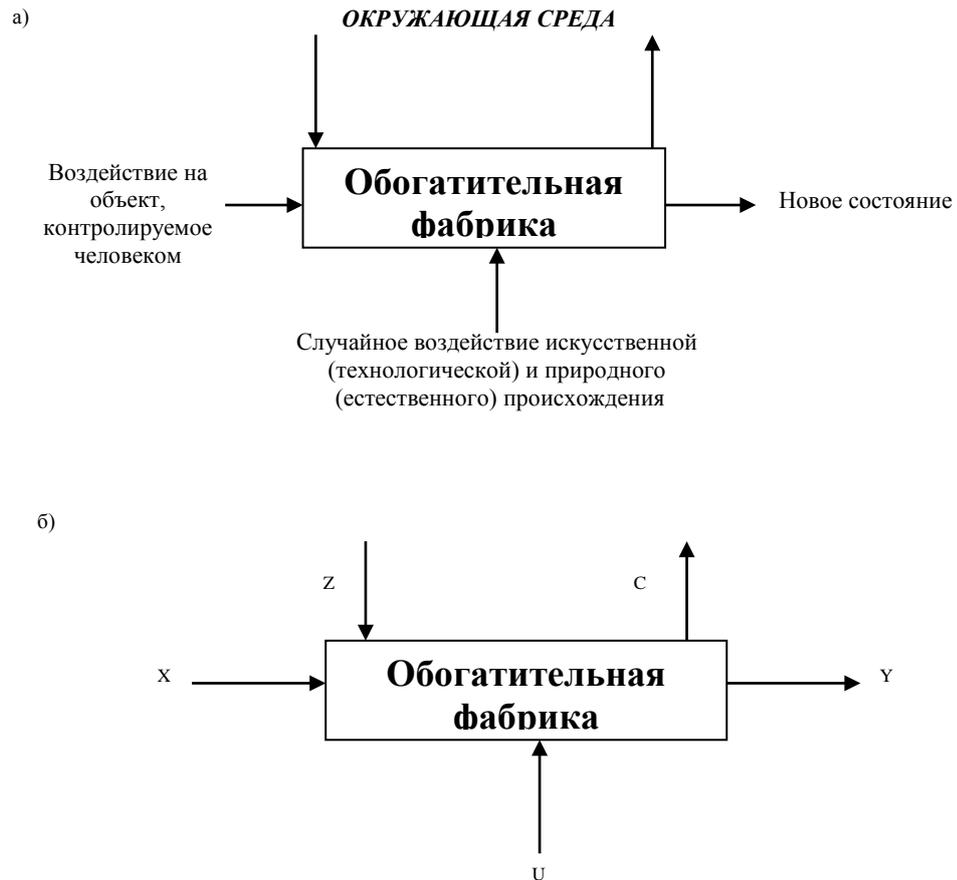


Рис. 1.3. Обобщенная модель углеобогатительной фабрики.

Структуру ПТК как объекта управления можно представить совокупностью экономических, технических, технологических, информационных служб во взаимодействии с управляющими органами и внешней средой (рис. 1.4).

Вместе с тем необходимо учитывать, что в каждой из выделенных служб формируются управляющие воздействия различного функционального назначения в зависимости от горизонта планирования. По этому признаку целесообразно произвести декомпозицию ПТК как объекта управления на три иерархические уровня: 1) технологические процессы — нижний уровень предусматривает управление в реальном масштабе времени; 2) производство ПТК в целом — средний уровень предусматривает оперативное диспетчерское управление в реальном масштабе времени, а также и элементы планирования на период времени небольшой длительности (час, смена, сутки); 3) организационно-экономическая деятельность — верхний уровень предусматривает управление на длительные сроки (неделя, месяц, квартал, год и т.п.). Каждый уровень управления ПТК содержит подсистемы, выделяемые по различным признакам: функциональные подсистемы на уровне технологических процессов целесообразно выполнить по технологическому признаку; на уровне оперативно-диспетчерского управления — по функционально-технологическому и на уровне организационно-экономической деятельности — по функциональному признаку.

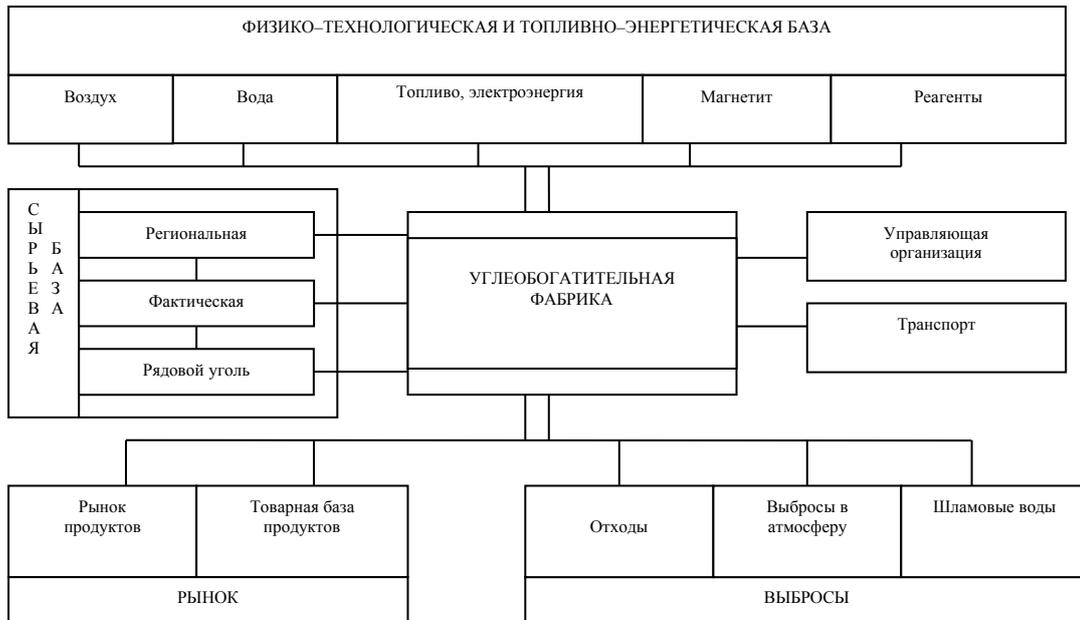


Рис. 1.4. ОФ как эколого–экономическая и транспортная система.

Отметим, что до настоящего времени автоматизация углеобогажительных фабрик осуществлялась без должного учёта необходимости снижения вредных выбросов, а вопросам автоматизированного контроля и идентификации экологической ситуации не уделялось достаточного внимания. Поэтому для повышения экологической безопасности в результате производственной деятельности ПТК необходимо решить ряд проблем:

- управление эколого-экономической системой путём непосредственного воздействия на технологические процессы с целью их оптимизации по экономическим критериям с учётом экологических ограничений, обеспечивающего минимизацию или поддержание объёмов вредных выбросов на заданном уровне, например, в пределах допустимых концентраций (ПДК);
- организационное управление с целью совершенствования технологии и соответствующего снижения уровня загрязнения окружающей природной среды путём замены устаревшего оборудования, внедрения новой техники и технологии;
- перспективное планирование разработок по созданию новых технологий, оборудования, систем управления и т.п.

Настоящая работа посвящена решению первого класса проблем.

Основными функциями интегрированной АСУ являются следующие: автоматическое управление основными технологическими процессами в соответствии с локальными критериями управления; координация функционирования технологических процессов и производств как единой системы; автоматический контроль основных технологических параметров и расчёт технико-экономических показателей фабрики; централизованный текущий и интегральный учёт продуктов обогащения, материальных и энергетических ресурсов; оптимизация комплекса процессов обогащения; формирование сообщений и выходных форм документов и их представление на видеотерминал и принтер по расписанию или запросу.

ПТК как объект экономико-экологического управления и мониторинга. Наиболее интенсивными источниками загрязнения окружающей среды являются пылегазовые выбросы, процессы погрузки, транспортирования и разгрузки угля. Источниками загрязнения поверхностных и подземных водных бассейнов являются производственные сточные воды, сточные воды с породных отвалов, а также хозяйственно-бытовые стоки. Отходы обогащения флотацией в своем составе содержат жидкую, твердую и газообразную фазы, занимают значительные земельные участки и заметно оказывают вредное воздействие на окружающую среду.

Для анализа ПТК как объекта экологического мониторинга удобно представить его технологическую схему в виде производственно-транспортной системы, состоящей из следующих подсистем: внешнего транспорта (железнодорожные вагоны для доставки рядовых углей, автомобили для вывоза породы, трубопроводы для подачи рядовых углей), внутреннего транспорта сухих и влажных продуктов, шламов, чистой и технической воды (конвейеры, элеваторы и трубопроводы и др.). Подсистему непрерывного транспорта сухих и влажных продуктов для упрощения будем называть подсистемой конвейерного транспорта. В эту подсистему входят все процессы, где преобразование рядового угля в концентрат или обезвоживание осуществляется в процессе его перемещения (отсадочные машины, сепараторы, сушилки, грохоты, элеваторы, дуговые сита и др.).

При таком представлении выделение вредных веществ в окружающую среду происходит при транспортировке угля и продуктов его преобразования (угольная и породная пыль, зола, диоксиды азота и серы, оксид углерода, сероводород).

Угольная пыль образуется при дроблении, транспортировке и переработке угля, что является источником выделения угольной и породной пыли внутри производственных помещений и в атмосферу. Особенно велики выбросы пыли в отходящих газах сушильных установок. В производственных помещениях угольная пыль может создавать взрывоопасные смеси.

Источниками выделения в атмосферу диоксидов серы и азота, оксида углерода являются топочные устройства сушильных установок и котельных при сжигании угля в качестве источника тепла для нагрева воды и получения сушильного агента. Породные отвалы являются значительными источниками образования пыли. Вблизи породных отвалов содержание пыли в атмосфере достигает 90 мг/м^3 , а если отвал горит, то и выше.

Самыми мощными источниками загрязнения атмосферы являются термическая сушка угольного концентрата и аспирационные системы фабрики, через которые выбрасывается угольная пыль из производственных помещений. В этом смысле аспирационные системы могут рассматриваться как объекты образования угольной пыли. При термической сушке выделяется пыль, образующаяся непосредственно из высушенного угля, сернистый ангидрид, двуоксид азота и оксид углерода, выделяемые при сжигании топлива в топочных устройствах. Интенсивность выделения указанных веществ в атмосферу зависит от режимов работы процессов горения и сушки и эффективности фильтрования выбрасываемых в атмосферу газов.

При постоянном КПД очистки газов интенсивность загрязнения можно рассматривать как функцию режимных параметров горения и сушки:

$$y_3 = f(q_T, T, q_{\%}, q_c, W),$$

где $q_T, T, q_{\%}, q_c$ - соответственно производительность по топливу, температура сушильных газов, производительность устройств подачи воздуха и питания сушки;

W — влажность просушиваемого концентрата.

Поэтому управление этим объектом необходимо вести по критерию, учитывающему степень загрязнения окружающей среды.

При этом следует отметить, что аналитической зависимости между компонентами вектора y_3 и параметрами процесса, не существует, поскольку указанный процесс имеет нестационарный характер. Уравнения регрессии здесь также неэффективны, т. е. имеет место неточная зависимость.

Производственные сточные воды образуются отходами флотации и в виде шламовых вод. Они представляют собой гидросмесь, состоящую из жидкой (95-98%), газообразной (растворенный в воде воздух) и твердой фаз минерального и органического происхождения с размерами частиц до 50 мкм. В воде растворены минеральные соли (хлориды, нитраты, нитриты, сульфаты и др.). Кроме того, в сточных водах находятся нефтепродукты и вредные для здоровья флотореагенты и флокулянты. В среднем содержание взвешенных частиц в дождевой воде, стекающей с промплощадки фабрики, составляет свыше 2000 мг/л, а средний объем поверхностных стоков — 2,6-4,0 тыс. м³/год с одного га промплощадки.

Существует неприятная тенденция роста породных примесей в рядовом угле, что ведет к увеличению объемов отходов обогащения. Возрастает также и объем обогащения мелких классов угля, что сопровождается увеличением выпуска отходов флотации и количества сушеного угля. Это в конечном итоге приводит к выбросам больших количеств пыли и газов в атмосферу.

Унос пыли зависит от влажности просушиваемого материала. При пересушивании угля снижается производительность сушильной установки по сырому углю, нарушается режим работы пылеулавливающих аппаратов, увеличивается содержание частиц пыли размером 0-5 мкм в отработанном газе, возникают дополнительные потери угля при подаче его на склад и при погрузке в вагоны.

Наиболее опасными для здоровья людей и окружающей природы являются выбросы в атмосферу сернистого ангидрида, оксида углерода, двуоксида азота, сероводорода, а также загрязнение водных бассейнов и почв твердыми веществами, минеральными солями и нефтепродуктами.

Объектами экологического мониторинга должны быть прежде всего вредные выбросы, на которые государственными органами по охране природы и технологическими службами установлены нормативы и тарифы. Это угольная и породная пыль, двуоксиды азота и серы, оксид углерода, твердые частицы и нефтепродукты в сточных водах, потери легких фракций с отходами обогащения. Указанный перечень следовало бы дополнить минеральными солями в сточных водах, флотореагентами и флокулянтами в отходах обогащения.

На уровень загрязнения окружающей среды определенное влияние оказывают режимы работы соответствующих аппаратов и установок, в частности:

1) на выбросы пыли и вредных газов сушильных установок существенное влияние оказывает режим сжигания топлива и сушки. При механическом и химическом недожеге увеличивается количество пыли и оксида углерода, а при повышении температуры сушильного агента - двуоксида азота. При снижении влажности просушиваемого угля повышается унос пыли и т.д.;

2) на величину потерь легких фракций с отходами обогащения значительное влияние оказывают режимы работы обогатительных аппаратов. При оптимизации режимов работы потери снижаются;

3) количество флотореагентов и флокулянтов, выбрасываемых с шламами, зависит от режимов работы процессов флотации, обезвоживания и сгущения и т.п.

Поэтому важным направлением снижения уровня загрязнения окружающей среды является автоматизация технологических процессов по критериям, учитывающим влияние на экологическую ситуацию, т.е. по эколого-технологическим критериям.

В работе [128] предлагается совместить элементы экологического мониторинга с системой оперативно-диспетчерского управления. По-видимому, это решение ошибочно, поскольку в экологическом мониторинге решаются не только оперативные задачи, а и задачи анализа, прогноза, формирования отчетных документов и т.п. Поэтому диспетчеру фабрики необходимо выдавать информацию только о значениях экологических параметров, а задачи и функции экологического мониторинга целесообразно представить в подсистемы "АРМ эколога ПТК". В настоящее время эти функции выполняет заместитель главного инженера фабрики.

Подсистема экологического мониторинга должна выполнять следующие функции: сбор и обработка первичной информации о значениях параметров выбросов вредных веществ в окружающую среду; идентификация моделей технологических процессов фабрики как источников загрязнения окружающей среды; формирование корректирующих управляющих воздействий на системы управления локальных процессов с целью снижения концентрации выбросов вредных веществ; идентификация аварийных и предаварийных ситуаций в части экологической обстановки; формирование советов руководящему персоналу фабрики по совершенствованию техники и технологии обогащения; анализ и прогнозирование состояния экологических параметров и ситуации в целом; рекомендации по выявлению и локализации источников загрязнения окружающей среды.

Основными направлениями научных исследований в создании данной системы являются: разработка общих требований и структуры системы; разработка математических моделей атмосферных процессов и их алгоритмизация; разработка имитационной модели технологических схем углеобогащательных процессов и ПТК в целом с учетом комплекса эколого-экономических и стохастических параметров; разработка обобщенных технико-экономических и экологических критериев (ТЭЭК) управления и принятия решений для ПТК; разработка принципов создания гибридной интеллектуальной

компьютерной среды экологического мониторинга на базе современных информационных технологий; разработка методов и алгоритмов обработки и идентификации процессов и возмущающих воздействий по наблюдениям; создание адаптивных и интеллектуальных систем автоматического управления технологическими процессами; разработка подсистемы принятия эффективных управленческих решений для диспетчера; исследование маркетинговых моделей для ПТК; разработка АРМ экологов и других работников ПТК; проектирование информационно-вычислительной сети ПТК; разработка типовой технической документации, включая пакеты прикладных программ для данной системы.

ПТК как объект диспетчеризации. Анализ ПТК как объекта диспетчеризации удобно выполнить с позиций технических требований к автоматизированным системам оперативно-диспетчерского управления. Основные требования к функционированию перспективных АСОДУ сводятся к следующему [7, 56, 59, 129].

1. Управление поточно-транспортной системой: пуск и останов механизмов поточно-транспортной системы фабрики, выбор маршрутов, рабочая и аварийная сигнализация о запуске, сбоях в работе и состоянии оборудования и каналов связи.

2. Расчет шихты рядовых углей: контроль за запасами и зольностью угля в бункерах, за количеством угля в вагонах, количеством и зольностью поступающего угля по поставщикам, расчет долевых частей шахтогруппы в шихте, выдача заданий (установок СУ) на автодозаторы.

3. Координация технологического комплекса фабрики: контроль за запасами продуктов обогащения и свободными емкостями под них, выбор оборудования для включения в работу, расчет производительности секций и участков, контроль за электропотреблением и управление электропотребителями, координация комплекса процессов обогащения, прогнозирование ожидаемых показателей и рациональных параметров режимов обогащения, оптимизация режимов обогащения.

4. Контроль и учет показателей работы фабрики: контроль и учет количества и качества отгруженных товарных продуктов, формирование сменного и суточного рапортов диспетчера.

5. Управление потреблением электроэнергии: контроль и учет общего потребления электроэнергии в часы максимумов, прогнозирование потребления электроэнергии в часы максимумов, управление электрооборудованием путем отключения по приоритету.

Существующая концепция диспетчеризации в недостаточной мере учитывает необходимость повышения экологической безопасности.

К указанным функциям следует добавить некоторые функции экологического мониторинга, в частности: 1) автоматический контроль, регистрацию и учет экологических параметров; 2) периодический контроль за экологическими параметрами; 3) обнаружение, регистрацию и представление сообщений об отклонениях экологических параметров; 4) усредненный контроль за количеством выбрасываемых в окружающую среду вредных веществ; 5) идентификация экологической модели объекта управления; 6) прогнозирование

экологической ситуации; 7) принятие решений по управлению фабрикой с учетом экологической ситуации; 8) отображение на видеотерминал по вызову и по расписанию фрагментов документов и сообщений об экологических и технологических параметрах и показателях работы фабрики за интервалы усреднения (текущие значения, средние значения за час, смену, сутки, месяц и др.); 9) автоматизированное формирование и печать документов и вывод на видеотерминал графической информации и др.

Таким образом, для АСОДУ необходима вся текущая информация о деятельности фабрики и технологических процессах. Для этих целей ПТК удобно представить в виде информационной модели. Для облегчения работы диспетчера информация о технологических процессах может представляться в обработанном или обобщенном виде. Первичная обработка информации должна осуществляться на уровне подсистем управления технологическими процессами.

Часть информации о параметрах процессов, для которых отсутствуют средства измерения, а также трудно поддающихся автоматическому измерению (номер вагона, шифр поставщика, шахтогруппа и т.п.), может вводиться вручную операторами или соответствующими службами.

Анализ информационной модели фабрики позволяет сделать следующие выводы:

- диспетчер фабрики в значительной мере перегружен информацией о состоянии производства, поэтому не имеет возможности творчески ее переработать, прогнозировать и принимать оптимальные решения;
- существующая концепция практически не предусматривает измерение, контроль, анализ и прогнозирование экологической ситуации. При управлении с учетом экологии нагрузка диспетчера возрастает еще больше, поэтому без технических средств автоматизации процессов переработки информации и поддержки принятых решений эффективная работа диспетчера невозможна;
- значительное количество средств отбора информации о технологических параметрах, приведенные в табл.1.1, с одной стороны, имеют низкую надежность, не нашли еще широкого применения, поэтому диспетчеру приходится принимать решения при высокой степени неопределенности. Средств контроля большинства экологических параметров пока не создано. Ведётся разработка датчиков запыленности отходящих газов, содержания твердого в сточных водах;
- существующие СОДУ функционируют в информационно-справочном режиме, в связи с чем интеллектуальная нагрузка целиком падает на диспетчера. Для освобождения диспетчера от части работы по переработке информации целесообразно использовать интеллектуальные системы управления, основанные на базе знаний.

Таблица 1.1

Технологические комплексы ОФ как объекты управления (функции)

Наименование комплекса процесса	Автономные функции и операции	Функции по управлению
1	2	3

<p>Углеприем и углеподготовка</p>	<p>Маневровые операции на подъездных путях. Разгрузка железнодорожных вагонов. Загрузка аккумулярующих бункеров</p>	<p>Оптимальное управление транспортом на подъездных путях. Автоматическая загрузка бункеров. Автоматическая разгрузка бункеров</p>
<p>Обогащение: - в минеральной суспензии</p>	<p>Подготовка и регенерация суспензии. Процесс разделения</p>	<p>Оптимальное управление процессом обогащения по зольности концентрата. Автоматическое регулирование плотности суспензии</p>

Продолжение табл. 1.1

		Автоматическое регулирование вязкости суспензии Автоматическое поддержание уровней суспензии в сборниках
- в отсадочных машинах	Процесс разделения	Оптимальное управление процессом разделения по зольности концентрата Автоматическое регулирование высоты породной постели Автоматическое регулирование разрыхленности породной постели
- флотацией	Процесс разделения	Оптимальное управление процессом разделения по зольности концентрата и отходов Автоматическое регулирование удельного расхода реагентов Автоматическое регулирование уровня пульпы в камерах флотомашин
Фильтрация (обезвоживание флотоконцентрата)	Процесс фильтрования. Согласование производительностей флотационного и фильтровального отделений	Автоматическое согласование производительностей флотационного и фильтровального отделений. Оптимальное управление процессом обезвоживания флотоконцентрата Автоматическое регулирование уровней в ваннах фильтров Автоматическое регулирование удельного расхода флокулянта
Сушка	Процесс приготовления сушильного агента Процесс сушки	Оптимальное управление процессом горения топлива Автоматическое регулирование влажности высушенного угля Автоматическое регулирование степени разрежения в топке Автоматическое регулирование температуры сушильного агента
Осветление отходов флотации и сгущение шламовых вод	Процесс осветления отходов флотации Процесс сгущения шламовых вод	Автоматическое регулирование удельного расхода флокулянта Автоматическое регулирование плотности сгущенного продукта. Автоматическое регулирование содержание твердой фазы в осветленной воде
Погрузка	Погрузка товарных продуктов обогащения в бункеры Разгрузка бункеров Загрузка товарных продуктов обогащения в железнодорожные вагоны	Автоматическое регулирование процесса загрузки бункеров Автоматическое регулирование разгрузки бункеров Автоматическое регулирование процесса загрузки железнодорожных вагонов Автоматизация процесса подачи порожних вагонов

Продолжение табл. 1.1

Породный комплекс	Складирование отходов обогащения Погрузка и разгрузка бункеров	Автоматическая загрузка и разгрузка бункеров Автоматическое управление гидротранспортом отходов (илов) во внешние хранилища (илонакопитель)
-------------------	---	--

В сложившейся ситуации представляется наиболее перспективным направлением автоматизации диспетчерских функций создание экспертных систем управления, учитывающих опыт и знания специалистов, т.е. интеллектуализация систем управления.

При этом не снижается актуальность проблемы создания датчиков, особенно для оценки экологической ситуации.

Организационно-экономическое управление ПТК. Управление фабрикой в части организационно-экономической деятельности осуществляют функциональные службы фабрики, основные обязанности которых заключаются в следующем: бухгалтерский учет и отчетность (начисление зарплаты, учет материальных ценностей, основные фонды и др.), планово-экономическая деятельность, кадровое обеспечение, маркетинг, экология, служба главного механика и главного энергетика и др.

Система управления производственно-хозяйственной деятельностью ПТК относится к классу эргатических систем, в контуре которых функционирует человек (лицо, принимающее решения - ЛПР), которому принадлежит ведущая роль в принятии и реализации решений по управлению. Поэтому качество принимаемых решений существенно зависит от квалификации, индивидуальных способностей и состояния ЛПР. В выработке управляющих решений принимают участие руководители всех рангов и функциональные службы.

Примитивные методы получения, обработки и представления информации, существующие в настоящее время на ПТК, условия неопределенности, в которых зачастую принимаются решения, приводят к ошибкам или запаздыванию и обесцениванию управляющих воздействий. В последнем случае система становится неустойчивой, что выражается в потере ритмичности, простоях и т.п.

Большое количество информации, документации, справок, формируемых ограниченным штатом планово-экономической службы ПТК, ведение большого количества журналов, дублирование информации в различных вспомогательных документах, затраты труда и времени на сбор информации и ее представление не позволяет осуществлять оперативный и качественный анализ работы фабрики, а также технико-экономическое и оперативное планирование.

В службах ПТК используют только по учету и отчетности материальных ценностей более 30 различных документов, по учету основных фондов — более 10, в бухгалтерии и на участках по учету труда и заработной платы — более 50 групп документов. В энергомеханической службе ведется ряд оперативных

журналов по ремонту и простоям оборудования, рассчитываются графики ремонтов, ведется паспортизация оборудования и др. Потоки информации в системе управления ПТК не равномерны во времени: наибольший объем первичной информации о результатах работы ПТК приходится на конец смен, на первую смену, начало и конец месяца.

ПТК как объект организационно-экономического управления можно представить как взаимодействующие между собой планово-экономическую, техническую, производственную (технологическую) и энерго-механическую службы. В общем случае функциональную схему системы организационно-экономического управления ПТК можно представить взаимодействием служб (рис.1.5).



Рис. 1.5. Функциональная схема системы управления организационно-экономической деятельностью ОФ: Z – вектор заданий; U – вектор управленческих решений; Y – вектор выходных параметров; J – вектор показателей качества функционирования; W – вектор внешних возмущений.

Управляющими воздействиями являются: оперативное сменное (суточное) задание для ПТК, сменное задание по технологическим отделениям, рациональные режимы технологического оборудования, график отгрузки продукции по договорам, запасы материалов, запчастей и оборудования по выработанному ресурсу, расход электроэнергии в часы максимумов нагрузки в энергосистеме, заявленная мощность энергопотребления, расход воды, тепла и электроэнергии по участкам, структура затрат по объектам калькуляции и счетам, нормы расхода материалов, экономия материалов по участкам, соотношение темпов роста заработной платы и производительности труда, стимулирование труда.

Основным возмущающим воздействием являются: нарушение графиков поставки рядового угля, материалов, запчастей, оборудования, аварии, нарушение дисциплины, ограничение энергоресурсов и т.п.

Выбор управляющих воздействий осуществляется в результате анализа выходных показателей с учетом ограничений и показателей качества функционирования ПТК. К ним относятся: состояние технологического оборудования, область допустимых нагрузок, выполнение поставок продукции, объем реализации, себестоимость, прибыль, смета затрат на производство, оборачиваемость оборотных средств, объем выпуска, запасы продуктов и рядового угля, прогнозируемые выпуск и качество продуктов, выработанный ресурс оборудования и узлов, расход и резерв запасных частей, износ основных фондов, расход материалов по участкам и предприятию, состояние складских запасов материалов, расход энергоресурсов на производственные нужды в целом и по участкам, качественные характеристики потребления электроэнергии, расход электроэнергии в моменты максимума нагрузки энергосистемы, затраты на энергоресурсы, резерв зарплаты, структура и объем заработной платы по участкам и ПТК, использование рабочего времени, производительность труда по участкам и процессам, ритмичность производства, спрос на продукцию.

Из шести подсистем АСОДУ реализованы частично только четыре на одной фабрике [128-130]. На ПТК Украины не функционирует ни одна из рассмотренных подсистем. Разработанные системы работают в информационно-справочном режиме, поэтому нагрузка на управляющий персонал фабрики остается весьма значительной. Для автоматизации процессов принятия решений или их поддержки целесообразным представляется развитие этих систем в направлении интеллектуализации и интеграции.

Представленные в [7, 56, 129] подсистемы не охватывают все стороны организационно-экономической деятельности ПТК, поэтому АСОДУ нуждается в значительной доработке.

Моделирование технологических процессов ПТК (на примере обогатительной фабрики). Нижний уровень ИАСУ представляют локальные подсистемы управления технологиями переработки материальных потоков. В соответствии с этим при автоматизации технологических процессов обычно выделяют в качестве автономных следующие: углеприем — углеподготовка, процессы обогащения, обезвоживание, сушка мелкого концентрата, осветление отходов флотации и сгущения шламов, погрузка товарной продукции, породный комплекс.

С позиций автоматического управления технологические процессы ПТК можно рассматривать как дискретные и непрерывные производства. Подавляющее число технологических процессов, включая собственно процессы обогащения, относятся к непрерывным, а вспомогательные — к дискретным (углеприем, углеподготовка, погрузка, породный комплекс). Причем управление технологическими комплексами может осуществляться с местных постов управления (операторами) и дистанционно (диспетчером). Централизованное управление реализуется обычно поточно-транспортной

системой фабрики, имеющей общий характер, а операторы управляют локальными комплексами машин и механизмов, имеющих целевое функциональное назначение.

Особенностями технологических комплексов фабрики как объектов управления являются: 1) многофункциональное назначение, обуславливающее многомерность их как объектов управления; 2) иерархический принцип построения систем автоматизации; 3) нестационарность параметров и возмущающих воздействий; 4) значительное транспортное (чистое) запаздывание сигналов в каналах измерения показателей качества продуктов в непрерывных процессах; 5) жесткая взаимосвязь между процессами по материальным и информационным потокам.

Приведенные особенности технологических процессов являются серьезным препятствием при разработке и создании систем управления ими. Поэтому исторически сложилась тенденция автоматизации в первую очередь отдельных функций, а затем комплексов в целом. Сравнительно низкая надежность средств отбора информации, особенно о зольности и влажности конечных продуктов и отсутствия ряда важных датчиков обусловили преимущественное применение САУ отдельными параметрами. На ПТК Украины функционируют САУ по принципу: "минимум автоматизации, без которого нельзя обойтись". К ним относятся регуляторы высоты породной постели, плотности суспензии, удельного расхода флотореагентов и флокулянтов.

В табл. 1.1 приведены данные о технологических комплексах ПТК, как объектов управления с выделением автономных подсистем. Здесь не приведены функции, общие для любого комплекса, например, такие как управление комплексом, включая функции запуска и останова оборудования, входящего в данный комплекс, сигнализации о состоянии оборудования (включено — выключено), автодиагностики неисправностей, сигнализации и т.п. Приведенные в табл. 1.1 функции в основном автоматизированы, т.е. для соответствующих комплексов разработаны принципы создания систем управления или они созданы и могут поставляться по заказам предприятий. Некоторые функции и процессы не автоматизированы и работы в соответствующих направлениях не ведутся. В частности, задача управления железнодорожным транспортом на подъездных путях фабрики не ставится и не решается. Процесс разгрузки железнодорожных вагонов принципиально не разрешим без создания механизированного и автоматизированного комплекса, процесс загрузки железнодорожных вагонов товарными продуктами обогащения также целесообразно решать системно (механизация и автоматизация погрузочного комплекса с учетом качества товарной продукции).

Другие комплексы в принципе могут быть автоматизированы при помощи созданных для этих целей технических средств отбора информации. На действующих фабриках они работают в ручном режиме или автоматизированы лишь некоторые простые функции.

Динамические свойства технологических и технических объектов ОФ. Динамические свойства подавляющего большинства технологических процессов на обогатительных фабриках по управляющему воздействию аппроксимируются апериодическими звеньями первого или второго порядков с чистым запаздыванием [56, 131, 132]. Причем в процессе их функционирования изменяются постоянная времени, коэффициент усиления и время чистого запаздывания. Диапазон изменения относительно среднего значения показателя для коэффициента усиления достигает 2 раз, постоянной времени — до 1,2-1,5 раза и времени запаздывания — до 1,5 раза.

Причем время чистого запаздывания характерно для процессов при изменении качества продуктов (зольность, влажность), поскольку последние в силу специфики процессов возможно измерять лишь после обезвоживания, когда продукт попадает на конвейер. Поэтому время чистого запаздывания зависит от места установки датчика. Изменение времени чистого запаздывания происходит при изменении производительности аппарата, когда время нахождения материала в зоне преобразования обратно пропорционально производительности. Постоянная времени многих объектов управления также зависит от производительности последних, а изменения коэффициента усиления носят стохастический характер и, как правило, непредсказуемы. Строго говоря, процессы в обогатительных аппаратах, сушильных установках и других машинах значительной протяженности по длине пути обрабатываемого материала описываются дифференциальными уравнениями в частных производных. Однако, при рассмотрении их динамических свойств как объектов управления, распределенный характер объектов заменяется эквивалентным чистым запаздыванием. Так, для барабанной сушильной установки $\tau = 720-2600$ с, а постоянная времени $T=160$ с. Следовательно, динамические свойства процессов и аппаратов ПТК могут быть аппроксимированы в общем случае звеном второго порядка с чистым запаздыванием с нестационарными параметрами. Параметры объектов изменяются во времени в зависимости от возмущающих воздействий, имеющих стохастический нестационарный характер. Возмущающими воздействиями процессов обогащения, сушки, обезвоживания и др. являются изменения нагрузки по входу, характеристик сырья (фракционный, гранулометрический состав, зольность, влажность и т.п.) и они имеют аддитивный, мультипликативный и смешанный характер [72, 73, 124]. Мультипликативный характер возмущающего воздействия обычно имеет место при регулировании процессов путем изменения нагрузки по входу, например, при регулировании процесса сушки концентрата путем изменения количества влажного материала (возмещение изменения количества влаги в сыром угле, которое необходимо испарить).

Экспериментальными исследованиями установлен сложный характер формирования возмущающих воздействий: плотность вероятностей может иметь множественные максимумы, т.е. распределение вероятностей отличается от нормального. Такой характер плотности вероятностей можно объяснить

смешиванием углей различных шахтогрупп при приготовлении шихты, причем смешивание осуществляется неидеальное.

Моделирование транспортной подсистемы промышленного предприятия в системе ЭМУ. ПТК как объект управления можно представить как совокупность производственных и транспортных подсистем. В частности, транспортная система (рис.1.6) включает: 1) железнодорожный транспорт на станции примыкания при поступлении рядовых углей и отправлении товарных продуктов; 2) конвейерный транспорт рядовых углей и продуктов обогащения внутри фабрики при передаче от одного процесса к другому (ленточные конвейеры, элеваторы, течи и др.); 3) автомобильный транспорт для отгрузки породы в отвал, а иногда и для отгрузки товарной продукции потребителям (на хозяйственно-бытовые нужды); 4) трубопроводный гидротранспорт шламов, свежей и оборотной воды внутри фабрики и за ее пределами.

Этим в значительной мере объясняется характер эволюции систем управления транспортом, которые возникли на первых шагах автоматизации для управления и осуществления пуск-останова поточно-транспортной системы (ПТС), блокировки и сигнализации.

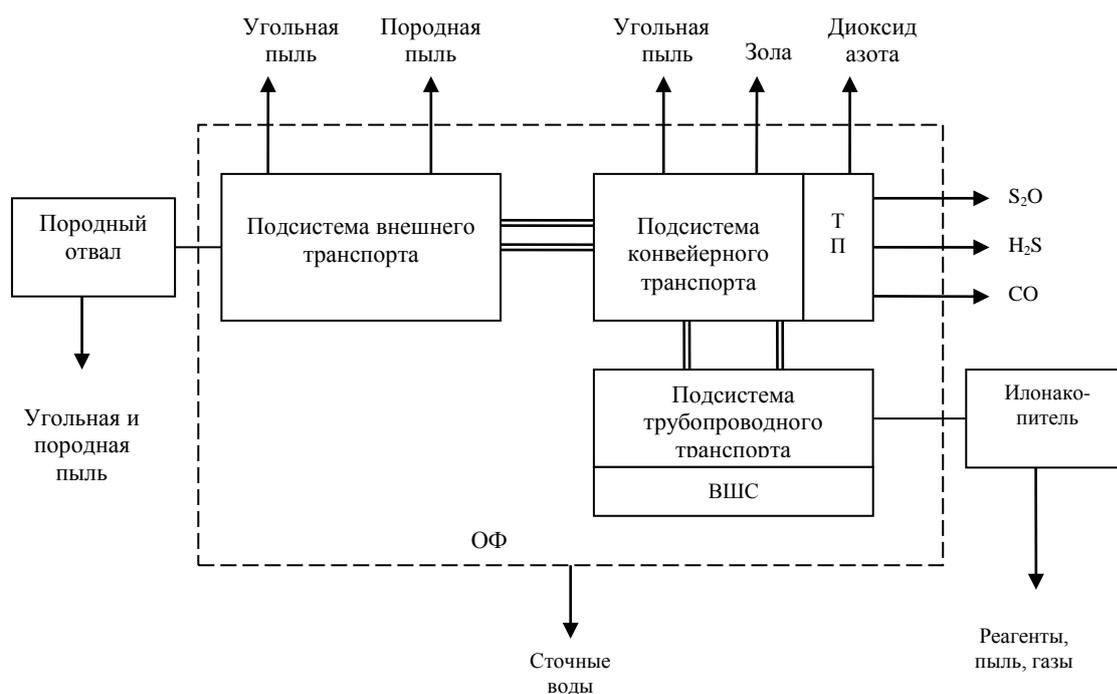


Рис. 1.6. ОФ как транспортная система и источник загрязнения ОПС.

На первых шагах автоматизации осуществлялось дистанционное управление пуском-остановом оборудования с местных постов, а затем с целью сокращения оперативного персонала (машинистов) управление было централизовано с единого пульта управления диспетчера фабрики. Технологическими процессами по-прежнему управляли операторы с местных постов управления, а команды по запуску-останову они получали по телефону или условными сигналами.

По существу все основные технологические процессы фабрики представляют собой транспортные потоки, а сама ПТК в целом является сложным производственно-транспортным комплексом, поскольку все физико-химические превращения происходят при перемещении угля в ваннах различного назначения (отсадка, тяжелосреднее обогащение, флотация, обезвоживание, сушка) и внешние связи с поставщиками/потребителями и ОПС обеспечиваются транспортными средствами различного назначения.

1.3. Эколого-экономическое управление промышленным предприятием и его интеллектуализация

Состояние эволюционного процесса в системах автоматизации управления характеризуется многими факторами и условиями и поэтому его можно описать как некоторый кортеж множеств эволюций (Э) систем автоматического и автоматизированного управления, компоненты которого определяют уровни развития теории, методов, моделей, технических средств реализации и т.п. [12, 13, 24, 26, 32-38,54], т.е. $\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_K\}$, где \mathcal{E}_1 — теории (Классическая теория управления, Теория нечетких систем и инженерия знаний, Теория прикладных нейронных сетей, Теория когнитивных процессов и интеллектуальных процессов и др.), \mathcal{E}_2 — методы (Методы обработки данных (временных рядов, процессов, полей), моделирования (идентификации), анализа, оптимизации, синтеза и др.), \mathcal{E}_3 — модели (Модели описания процессов и полей, Модели представления данных и знаний, Модели критериальных отношений и др.), \mathcal{E}_4 — техническая база (контроллеры и регуляторы, компьютерная и микропроцессорная техника, транспьютерная техника и т.д.). Основопологающим фактором при всем этом является проблема информационной неопределенности, т.е. информационное состояние процессов управления и принятия решений: детерминированность, стохастичность, расплывчатость и смешанная неопределенность, а также степень наличия и объем информации до и в процессе принятия решений. Этапы развития теории автоматизации управления представлены на рис. 1.7 [12, 13, 24, 54].

В частности, АСУ технологическими процессами (АСУ ТП) прошли следующие стадии [12, 13]: АСУ ТП, функционирующие в режиме советчика ЛПР (оператору); АСУ ТП супервизорного типа с регулятором прямого действия; АСУ ТП, работающие в режиме непосредственного цифрового управления, т.е. без регулятора; АСУ ТП на основе теории инвариантных, адаптивных, обучающихся и самообучающихся, робастных и др. автоматических систем.

Следует отметить, что процессы развития систем автоматизации производств стали основываться также на теории многоуровневых иерархических систем управления, теории сложных систем и системном анализе, на современных информационных технологиях и технике, учитывающих концепцию 4-х "И", и технике управления [11]. Это явилось

объективной предпосылкой для создания качественно нового класса систем комплексной автоматизации — ИАСУ на базе единой информационной среды.

Однако сложность, нелинейность, нестационарность, многокритериальность, слабая структурированность, неясность предпочтений, нечеткость исходной информации и др. "НЕ- и МНОГО-факторы" требуют создания нового поколения систем управления на основе методов и моделей теории искусственного интеллекта, т.е. систем, основанных на знаниях и нечеткой информации [7].

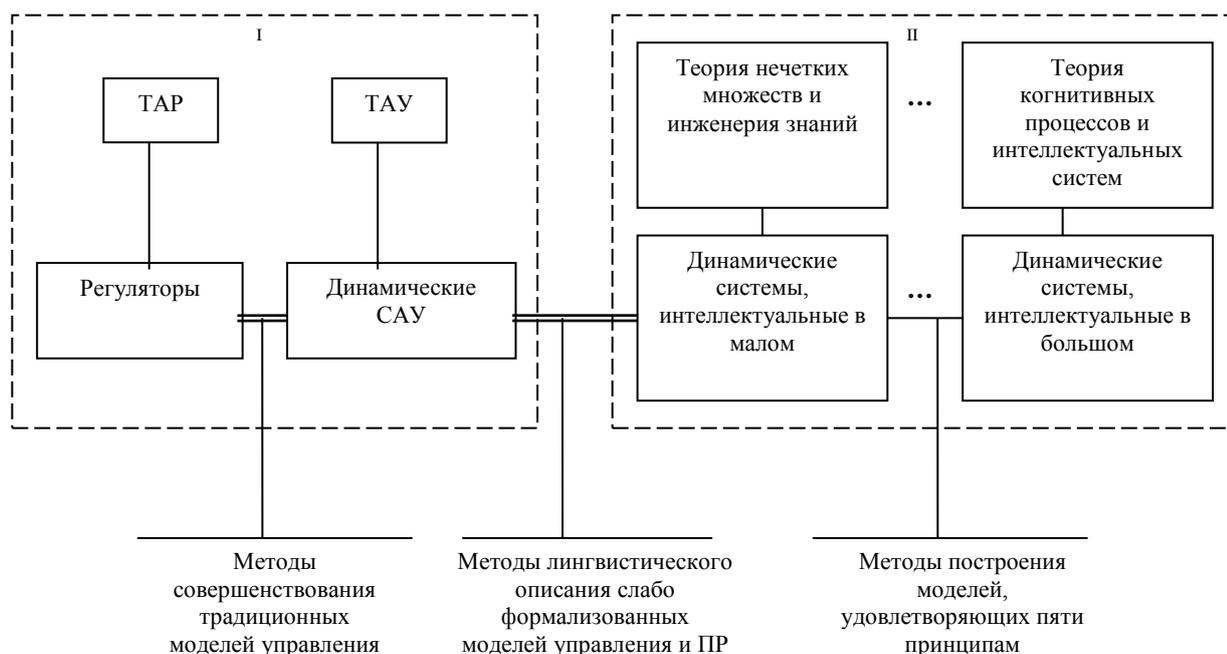


Рис. 1.7. Этапы развития систем автоматизации управления

Эволюционный процесс автоматизации ПТК можно условно разделить на четыре этапа.

Первый, достаточно длительный во времени, этап характеризуется исследованиями основных технологических процессов обогащения как объектов автоматического регулирования и созданием регуляторов важнейших режимных параметров, существенно влияющих на конечные результаты. К ним относятся регулятор плотности магнетитовой суспензии (РПСМ), регуляторы разгрузки тяжелых фракций из отсадочных машин РСБ, автодозаторы флотореагентов, регуляторы уровней в технологических емкостях и др.

Второй этап автоматизации характеризуется разработкой систем комплексной автоматизации технологических процессов по конечным показателям качества (зольность концентрата, влажность высушенного угля и т.п.). Системы комплексной автоматизации, как правило, имели двухуровневую иерархическую структуру управления, нижний уровень которых образуют регуляторы режимных параметров. Кроме этого, аппаратура позволяет централизованно управлять с пульта оператора всеми операциями предпускового и пускового периодов, контроль, сигнализацию, блокировки и

частично диагностику состояния оборудования и технических средств автоматизации. В частности, была создана аппаратура комплексной автоматизации всех основных процессов: обогащения в отсадочных машинах, тяжелосредних установках, флотационных машинах, обезвоживания, сгущения и сушки [10], а также необходимые средства отбора информации (золомеры, влагомеры, расходомеры и др.) [130, 131, 135].

В этот период осуществлены некоторые идеи автоматической оптимизации технологических процессов [7, 56, 134].

На третьем этапе осуществлена качественно новая системная автоматизация, которая предусматривает создание трехуровневой ИАСУ фабрики на базе управляющей ЭВМ. ИАСУ информационно-советующего класса были внедрены на нескольких ПТК [56, 129, 131]. В указанных ИАСУ были использованы фрагменты оптимизации комплекса процессов обогащения по технологическому критерию [7, 56, 131].

Настоящий четвертый этап можно охарактеризовать следующими свойствами [1]: 1) интеллектуализация систем управления на основе использования экспертных систем управления в условиях неопределенности; 2) использование эколого-экономических критериев управления и соответственно создание в составе ИАСУ подсистемы экологического мониторинга, управления и критерия решений; 3) оптимизация технологического комплекса обогащения; 4) использование адаптивных и оптимальных СУ на нижних уровнях иерархии; 5) индивидуализация и создание АРМ различного функционального назначения; 6) создание локальных вычислительных сетей и общей вычислительной сети фабрики.

Этими и другими свойствами должна обладать рассматриваемая в данной работе система.

1.4. Вопросы автоматизации эколого-экономического управления промышленными предприятиями (на примере ОФ)

Общая концепция автоматизации углеобогажительных фабрик предусматривает создание трехуровневой интегрированной автоматизированной системы управления, включающей автоматизацию отдельных технологических процессов, автоматизированную систему оперативно-диспетчерского управления производством ОФ и автоматизированную систему организационно-экономического управления [7,10,131]. При создании ИАСУ руководствуются следующими принципами: 1) использование средств компьютерной и микропроцессорной техники на всех уровнях управления; 2) формирование единой вычислительной сети с интегрированной базой данных; 3) модульный принцип построения технических средств, математического и программного обеспечения; 4) унификация алгоритмов, средств вычислительной и микропроцессорной техники, а также конструкции технических средств различного функционального назначения; 5) автоматическая оптимизация режимов работы

технологических процессов и ОФ в целом и поддержания заданных значений качества конечных продуктов; 6) создание унифицированных многопараметрических средств автоматического контроля качества продуктов, режимных, экологических и других параметров; 7) автоматический контроль и управление экологической ситуацией ОФ.

В качестве критериев управления предусмотрено использовать чисто экономический показатель — прибыль предприятия, а целью управления является максимизация прибыли. Для оперативного управления принят технолого-экономический критерий следующего вида:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n G_{ki} C_{ki} [1 - \alpha(A_{ki}^d - A_{ki}^{d*})] \rightarrow \max, \\ A_{k\Sigma}^d = \sum_{i=1}^n \Gamma_{ki} A_{ki}^d / \sum_{i=1}^n \partial_{ki} \leq A_{k\Sigma}^{d*}, \gamma_{\Sigma} \leq \gamma_{\Sigma}^*, \quad (1.8)$$

где G_{ki}, C_{ki} — соответственно производительность и цена единицы массы концентрата i -го типа товарной продукции;

A_{ki}^d, A_{ki}^{d*} — соответственно текущая и заданная зольность концентрата i -го типа; $\alpha=0,025$ — коэффициент скидок и надбавок к ценам с учетом фактической зольности концентрата;

Γ_{ki} — выход концентрата i -го класса;

$A_{k\Sigma}^d, A_{k\Sigma}^{d*}$ — соответственно текущая и заданная зольность суммарного концентрата; $\gamma_{\Sigma}, \gamma_{\Sigma}^*$ — соответственно фактические и допустимые потери легких фракций с отходами обогащения.

Недостатки такого критерия: 1) не учитываются изменения в экономике, связанные с переходом к рыночным отношениям, и их переходные формы; 2) не учитываются требования снижения уровня загрязнения окружающей среды.

Приведенная выше концепция в целом правильно отражает современные тенденции системной автоматизации промышленных предприятий, однако в ней не учитываются следующие факторы: 1) отсутствие технических средств контроля важнейших технологических и экономических параметров в технологических потоках (зольность крупных классов угля, потери легких фракций с отходами обогащения, зольность отходов обогащения, запыленность выбрасываемых в атмосферу газов, влажность крупных классов угля и др.); 2) недостаточная надежность существующих средств и методов контроля качества продуктов обогащения (зольность мелких классов угля и его влажность), а также аппаратуры автоматизации технологических процессов; 3) отсутствие экономических и организационных возможностей оснащения всех фабрик современными средствами; 4) непригодность используемых критериев управления ОФ, не учитывающих необходимость повышения экологической безопасности.

Автоматизация технологических процессов ОФ. Технологические процессы ОФ трудно поддаются автоматическому управлению в связи с большим количеством влияющих на конечный результат параметров, их нестационарностью и значительным запаздыванием информации о качестве конечных продуктов. Поэтому на ОФ используются преимущественно системы автоматического управления отдельными режимными параметрами, в наибольшей мере коррелированными с показателями качества конечных продуктов. Это системы автоматической стабилизации высоты постели отсадочных машин, плотности минеральной суспензии тяжелосредних сепараторов и гидроциклонов, удельного расхода реагентов флотомашин, расхода флокулянтов процессов фильтрации флотоконцентрата и осветления отходов флотации и сгущения шламовых вод, уровней в технологических емкостях и др. С указанных позиций соответствующие процессы, как объекты управления, достаточно хорошо исследованы, результаты обобщены в монографии [136]. Здесь же приведены результаты исследований по оптимизации процессов обогащения по критерию, предложенному в работе [14]:

$$\Phi = \Phi_0 + aG_k - b \left| A_k^d - A_k^{d*} \right|^p \rightarrow \max, \quad (1.9)$$

где Φ_0, a, b — константы, G_k — производительность обогатительного аппарата по концентрату; $p=2$ — показатель степени.

Попытка реализовать этот критерий при автоматизации отсадочной машины окончилась неудачей по следующим причинам: 1) при постоянных значениях коэффициентов "a" и "b" экстремум становится стационарным и его можно поддерживать обычной системой стабилизации зольности концентрата; 2) использование поисковой системы для поиска экстремума применительно к процессам обогащения неэффективно вследствие большого шага рыскания и значительного времени между поисковыми движениями, обусловленных высокой инерционностью процессов обогащения и большой величиной запаздывания информации о результатах пробных воздействий.

Такую систему управления можно реализовать в классе адаптивных и беспоисковых алгоритмов. Эта задача была решена институтом "НИПИУглеавтоматизация", в результате чего создана и серийно выпускалась аппаратура автоматизации типа ОКА.1 [56] при упрощенном критерии вида

$$\Phi = G_k - a \left(A_k^d - A_k^{d*} \right)^2 \rightarrow \max, \quad (1.10)$$

где a — переменная положительная величина, идентифицируемая по наблюдениям с помощью вычислительного устройства.

Однако критерии (1.9) и (1.10) носят искусственный характер и не отражают сути и цели управления, поэтому в дальнейших модификациях аппаратуры был использован экономический критерий, близкий к (1.8). В целом недостатком такого подхода является игнорирование системных

требований общефабричного критерия, в связи с чем он имеет ограниченную область применения, например, при обогащении антрацитов, когда концентраты различных классов крупности реализуются отдельно как товарные продукты. Таким образом, направление оптимизации отдельных процессов обогащения по критерию максимума стоимости товарных продуктов является ошибочным.

Поэтому при автоматизации комплекса процессов обогащения такой критерий вполне приемлем, тогда как каждый из участвующих в обогащении отдельных процессов должен управляться по локальному критерию, подчиненному общесистемному. Для отдельных процессов окончательно принят критерий максимального выхода концентрата при экономически целесообразной его зольности. В соответствии с такими критериями была создана аппаратура автоматизации всех основных процессов обогащения, сгущения шламовых вод, осветления отходов флотации, сушки угольного концентрата и др.[122-129].

Отличительной особенностью приведенных в [122-129] систем и средств автоматизации является управление по конечным показателям качества (зольность, влажность, содержание твердой фазы и др.), в связи с чем указанные системы управления имеют двухуровневую иерархическую структуру. Нижний уровень образуют системы контроля режимными параметрами, а верхний — системы управления качеством конечного продукта. Помимо функций автоматического управления параметрами процессов в системах автоматизации решены многие вопросы комплексной автоматизации, контроля и сигнализации (пуск и останов всех машин и механизмов комплекса, предупредительная сигнализация, измерение основных параметров, контроль состояния и др.).

Основными недостатками созданных технических средств управления и контроля являются: 1) отсутствие унификации микропроцессорной техники, что не позволяет объединять АСУТП в локальную вычислительную сеть, т.е. низкий уровень интеграции с системами высших уровней иерархий; 2) в критериях управления не учитываются экологические показатели работы комплексов; 3) низкий уровень надежности средств отбора информации о качестве конечных продуктов и несовершенный метод их измерения в технологических потоках.

Последний недостаток приводит к тому, что верхний уровень управления качеством продуктов зачастую не работает, поэтому операторы процессов вынуждены управлять ими лишь системами нижнего уровня. Это приводит к сильной зависимости качества управления от квалификации операторов и соответствующему снижению эффективности функционирования комплекса и фабрики в целом.

Одним из направлений автоматизации таких объектов является интеллектуализация алгоритмов управления и использования гибридных систем управления.

Оперативно-диспетчерское управление. В настоящее время практически на всех ОФ используются морально устаревшие методы и средства

диспетчерского управления производством. Только на ЦПТК "Свердловская" в 1983 г. была внедрена подсистема оперативно-диспетчерского управления на базе управляющей вычислительной машины типа М-6000. Указанная система имела отдельные признаки АСУТП, АСОДУ и АСОУ.

Критерий управления производством ОФ совпадает с (1.8), поэтому требует уточнения с учетом необходимости повышения экологической безопасности.

В концепции оперативно-диспетчерского управления производством ОФ поставлена задача объединения всех подсистем в локальную вычислительную сеть, однако такое техническое решение до настоящего времени не разработано.

Основными недостатками существующих АСОДУ являются: 1) функционирование в информационном режиме с фрагментами информационно-советующего класса; 2) отсутствие интеграции с АСУТП; 3) нет решения задач диагностики состояния и прогнозирования развития ситуации; 4) значительная зависимость эффективности управления от субъективных качеств диспетчера; 5) не контролируется экологическая ситуация; 6) критерий управления не содержит ограничений по экологическим параметрам и не учитывает интенсивность загрязнения окружающей среды.

Таким образом, имеется необходимость разработки более совершенных АСОДУ, соответствующих современным требованиям. Одной из главных функций таких систем должна быть система экологического мониторинга, управления и принятия решений. Интеллектуализация процесса принятия решений повысит эффективность управления фабрикой и в значительной мере устраним субъективный фактор. Это особенно актуально в связи с отсутствием ряда важнейших средств автоматического контроля режимных и экологических параметров, обуславливающих принятие решений в условиях неопределенности.

Модели управления организационно-экономической деятельностью ОФ. АСОУ ПТК обычно представляют в виде относительно автономных подсистем, выделяемых по ресурсному принципу, что дает возможность совместить структуру системы управления организационной структурой фабрики. Причем подсистемы АСОУ не адекватны службам, поскольку обеспечивают горизонтальные связи через общую информационную базу.

На ОФ реализовано ограниченное количество таких подсистем: "Основные фонды", "Материалы", "Труд и зарплата", "Оборудование". Концепцией автоматизации организационно-экономической деятельностью предусматривает разработку шести подсистем: кроме указанных выше предлагаются также: "Оперативное планирование и управление производством", "Контроль и анализ производства и реализации продукции", "Контроль и управление энергоресурсами" [7, 131].

Каждая из реализованных подсистем управления представляет собой, по существу, автоматизированное рабочее место специалиста (АРМ), оснащенное персональной ЭВМ. Однако, следует отметить, что ввод информации производится вручную, а АРМ не объединены в общую структуру при помощи

локальной компьютерной сети, хотя концепцией это и предусмотрено [131]. В качестве критерия управления ОФ принята прибыль, а целью управления — ее максимизация.

Такое направление автоматизации организационно-экономической деятельности в принципе следует признать верным, однако оно не полностью соответствует современным условиям производства. К недостаткам существующей концепции можно отнести следующее: 1) не учтены все функции ОФ в части организационно-экономической деятельности, например, вопросы управления кадрами, службы АСУ, экологией, маркетинга и др.; 2) более целесообразным представляется создание АРМов, в которых могут быть более широко представлены сервисные функции; 3) рассмотренные выше подсистемы реализуют информационные функции, тогда как необходимы анализ, прогнозирование и формирование советов по управлению; 4) не рассмотрены конкретные методы и аппаратное обеспечение интеграции АСОУ с другими подсистемами фабрики; 5) критерий управления не учитывает ограничения по загрязнению окружающей среды вредными отходами производства и выбросами, а также изменения во внешней экономической ситуации. Следовательно, существующая концепция создания ИАСУ ОФ не соответствует современным требованиям и требует уточнения и доработки с учетом требований экологической безопасности и необходимости перехода к рыночным отношениям. В функциональном плане необходимо реализовать информационно-управляющий режим управления с использованием адаптивных и оптимальных систем управления, их интеллектуализации на всех уровнях иерархии.

В заключении отметим, что в приложении П2 данной работы приведена оценка эколого-экономической эффективности автоматизации производственных процессов углеобогащения (на примере процесса сушки, как наиболее экологически вредного источника загрязнения).

1.5. Моделирование и современные информационные технологии в социально-экономических и экологических системах

Уровень развития и мощность современного цивилизованного государства и его интеграция в мировое сообщество в значительной степени определяется состоянием разработок в области фундаментальных и прикладных наук и степенью развития и применения индустрии информационных технологий и систем. Информационные технологии и системы – одно из наиболее значимых направлений научно-технического прогресса, непосредственно влияющего на динамику развития общества. В связи с этим в 1998 году в Украине принят Закон «О национальной Программе информатизации», что определяет стратегию решения проблемы обеспечения информационных потребностей и информационной поддержки научно-технической, социально-экономической, экологической, оборонной, национально-культурной и других видов деятельности в сфере общегосударственного значения.

В Украине разрабатываются программы и уже проводятся НИОКР в рамках действующей Государственной научно-технической программы по информатизации. Некоторыми направлениями исследования являются: создание национальных центров информационного моделирования и прогнозирования сложных физических процессов и природных явлений, производственно-технологических, экономических, экологических и др. систем; формирование ряда баз данных, экспертных систем на основе компьютерной среды, в том числе и украиноязычной; распараллеливание и высокопроизводительные системы обработки информации; создание распределенных информационных технологий при тесном взаимодействии Internet-технологий с новейшими высокопроизводительными реляционными СУБД (Informix, Oracle, Sybase) и др. [43, 44].

При анализе и управления сложными динамическими нелинейными объектами на определенном этапе их развития и специфических условиях функционирования или при некоторых значения параметров возникает хаотическое поведение, которое не поддается прогнозированию традиционными подходами. Подобные проблемы возникают в первую очередь в социально-экономических и экологических системах, динамика которых моделируются дифференциальными и разностными уравнениями. Анализ поведения этих систем, выявления причин, его изменяющих, может способствовать предупреждению этих проявлений или, по крайней мере, стабилизации их развития через принятие специальных мер.

Для решения указанного класса проблем эффективной оказывается разработка методов и моделей исследования теории нелинейной динамики и синергетики и компьютерного моделирования с учетом разнородной (гибридной) информации. Такие модели и методы обладают соответствующей гибкостью к обучению и способны стабилизировать режимные параметры нелинейных процессов. При этом достигается возможность также подавлять хаотическим поведением динамического объекта и управлять им при различной степени автоматизации.

При анализе хаотических динамических процессов следует учитывать фрактальный характер геометрических объектов, связанных с динамической системой. Один из наиболее содержательных подходов к фрактальному анализу динамических процессов опирается на предположение о том, что изучаемый процесс порождается динамической системой конечной размерности с хаотическим поведением [45, 46, 137].

Динамические процессы экономики переходного периода (ЭПП) являются альтернативой статистическим процессам развитой экономики, и для их описания применяются чаще всего не эмпирические алгебраические, а дифференциальные и разностные уравнения. Экономические объекты, функционирующие в условиях переходной экономики и рыночных отношений, характеризуются существенно нелинейным поведением и наличием сложных многомерных обратных связей. Традиционные методы моделирования социально-экономических систем, как правило, линейны и, кроме того, эконометрические модели в качестве обязательного компонента включают в

себя случайную переменную, с помощью которой пытаются объяснить колебания состояния системы относительно некоторого «среднего», предсказуемого состояния. То есть в традиционных моделях экономических систем изменчивость поведения объясняется внешними случайными воздействиями.

Альтернативным подходом к моделированию сложных экономических систем является применение принципов и методов нелинейного анализа и синергетики. Заметим также, что модели в нейросетевой технологии относятся также к моделям нелинейной динамики. Можно указать на множество применений методов нелинейного моделирования, теории хаоса и теории катастроф в социально-экономических и экологических системах.

При интернет-анализе публикаций по темам: синергетика, нелинейная динамика, детерминированный хаос и теория катастроф [39-41, 46, 53, 138, 139] видим достаточно широкий диапазон их приложений в социально-экономических, экологических и др. системах и процессах.

Задачи создания, анализа и оптимизации сложных социальных, экономических, экологических, технических и др. систем, которые возникли в результате стремительного роста научно-технического прогресса и социально-экономического развития мировой цивилизации в XX-м столетии, требуют интеграции усилий специалистов, работающих в разных отраслях, унификации подходов и поиска компромисса между разными противоречивыми целями и критериями [12].

Отметим некоторые ведущие научные школы, которые имеют результаты и опыт применения методов нелинейной динамики и синергетики для решения различных задач в социально-экономических, экологических и технических системах: Институт прикладной математики РАН им. Келдыша (акад. Самарский А.А., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. и др.); МГУ (Арнольд В.И., Дмитриев А.Ю., Лоскутов А.С. и др.); ИК НАНУ им. В.М. Глушкова; Санкт-Петербург, СпбГУ (Фрадков А.В. и др.); Запорожский ГУ (Перепелица В.А., Сергеева Л.Н.); Донецкий ГУ (Петренко В.Л., Лысенко Ю.Г.); Саратовский ГУ; Таганрогский РТУ (Колесников А.А.); Восточноевропейский национальный университет им. В. Даля (кафедра экономической кибернетики).

Нелинейная динамика, синергетика и теория хаоса в СЭЭС. Первоначально понимание сложных систем было связано с представлением о том, что их невозможно адекватно описать при помощи математических моделей. Более того, долгое время жизнь рассматривалась как антипод неорганической природы. Сегодня, однако, происходит все более активное проникновение физических методов и подходов в биологию, экономику и экологию.

Оказывается также, что основные формы кооперативного поведения, свойственные живым организмам, имеют свои аналоги среди неорганических систем. Любой живой организм представляет собой иерархию достаточно автономных подсистем, в которой исходящие от верхнего уровня сигналы управления не имеют характера жестких команд, подчиняющих себе активность всех индивидуальных элементов более низких уровней. Вместо

этого от высших уровней иерархии поступают сигналы, которые определяют переходы подсистем от одного режима функционирования к другому.

Иерархическое устройство сложных систем, представляющих собой ансамбль связанных подсистем более простого строения, позволяет избежать неустойчивостей и нежелательной динамики, которые неизбежно возникают в сложных системах с жестким централизованным управлением.

Наиболее очевидная особенность биологических систем заключается в том, что они способны к самоорганизации, то есть спонтанному образованию и развитию сложных упорядоченных структур. Это не противоречит законам термодинамики, поскольку все живые биологические системы не являются замкнутыми и обмениваются энергией с окружающей средой. Энтропия, служащая мерой беспорядка, может уменьшаться в открытых системах с течением времени.

Необходимая предпосылка эффектов самоорганизации заключается, кроме того, в наличии потока энергии, поступающего в систему от внешнего источника и диссипируемого ею. Именно благодаря этому потоку система становится активной, то есть приобретает способность к автономному образованию структур. Очевидно, что эффекты самоорганизации не могут быть исключительным свойством биологических объектов и должны наблюдаться в той или иной форме также в системах неорганического происхождения.

Большой интерес представляют распределенные среды, которые построены из дискретных элементов, локально взаимодействующих друг с другом и, таким образом, представляющих приближение естественных пространственно протяженных систем. Хотя разнообразие таких сред чрезвычайно велико, число математических моделей, используемых для описания процессов образования и развития структур в таких системах, не столь значительно. Даже когда отдельные элементы системы обладают сложной внутренней структурой, вся их сложность не проявляется во взаимодействиях между ними, и с точки зрения макросистемы они функционируют как достаточно простые объекты с малым числом эффективных степеней свободы. В противном случае никаких упорядоченных структур в системе обычно не возникает.

Задача нелинейной динамики и синергетики состоит в отыскании и подробном исследовании тех базовых математических моделей, которые исходят из наиболее типичных предположений о свойствах отдельных элементов, составляющих систему, и законах взаимодействия между ними. Поскольку главным отличительным свойством изучаемых сред являются протекающие в них процессы самоорганизации, синергетику можно также рассматривать как общую теорию самоорганизации в средах различной природы.

Где лежит граница между регулярной, но сложно организованной структурой (то есть порядком) и беспорядком? Часто под беспорядком подразумевается проявление системой качественно нового режима — *хаоса*. Критерием появления такого режима может служить устойчивость

возникающих в системе образований по отношению к малым возмущениям. Если такая устойчивость отсутствует, детерминированное описание теряет смысл, и необходимо использовать статистические методы.

Однако, как показали многочисленные исследования [39,46], статистические законы, а вместе с ними и статистическое описание относятся не только к очень сложным системам с большим числом степеней свободы. Дело здесь не в сложности исследуемой системы и не во внешних шумах, а в появлении при некоторых значениях параметров экспоненциальной неустойчивости движения.

Какие же законы управляют хаосом? Возможно ли создать математический аппарат, позволяющий непротиворечиво описывать хаотическую динамику и предсказывать появление хаоса в тех или иных системах? Наконец, можно ли найти методы предсказания поведения хаотических систем? Ответами на эти и ряд других вопросов занимается так называемая теория динамического (или детерминированного) хаоса, являющаяся одним из разделов нелинейной динамики.

К настоящему времени разработаны методы классификации различных типов хаоса, найдены закономерности его развития, созданы техники, позволяющие отличить хаос от белого шума, и т.п. Более того, было обнаружено и строго обосновано, что сложное пространственно-временное поведение распределенных сред с громадным числом степеней свободы может быть адекватно описано нелинейными системами небольшой размерности.

Как известно, математическим образом установившихся *периодических* колебаний является предельный цикл. Простым примером здесь может служить обычный часовой маятник. Циклы могут быть устойчивыми и неустойчивыми. Устойчивые циклы являются примерами аттракторов, поскольку они "притягивают" все близкие траектории. Физически это означает, что при отклонении от таких колебаний система спустя некоторое время вновь возвращается к ним. Если же система проявляет хаотические свойства, это соответствует наличию в ее фазовом пространстве более сложного, чем цикл, образования: странного аттрактора.

Проблема предсказуемости стала общей для многих направлений современной науки. В связи с этим в последнее время стало интенсивно развиваться новое направление в нелинейной динамике и синергетике, посвященное проблемам предсказуемости поведения хаотических систем, управления их динамикой и возможности подавления хаоса. На этом пути удается найти подходы к таким приложениям, как обработка информации (скрытая связь, т.е. пересылка зашифрованных сообщений), медицина (стабилизация неупорядоченных сокращений сердечной мышцы и дефибриляция), экономика (прогноз динамики финансовых рынков) и др. [53, 139].

Хаотические динамические системы имеют замечательное свойство: они весьма податливы (управляемость) и чрезвычайно чувствительны (устойчивость) к внешним воздействиям. Более того, динамикой хаотических систем можно управлять, то есть посредством слабых воздействий переводить

такие системы из режима хаотических колебаний на требуемый динамический режим (тем самым, стабилизируя их поведение).

Существует два основных способа стабилизации эволюции систем: без обратной связи и с обратной связью [146]. Первый способ называется подавлением хаоса, второй – контролированием хаоса.

Методы хаотической динамики дают возможность при относительно малых энергетических затратах создать устройства принципиально нового типа, способные запоминать, шифровать и обрабатывать заданную информацию. Один из подходов к этому основан на том, что хаотические аттракторы содержат, как правило, бесконечное множество неустойчивых циклов. Для ряда систем разработаны методы, позволяющие либо стабилизировать эти циклы, либо создавать новые. Это является ключом к решению проблемы обработки информации и организации динамической памяти на основе использования систем с подавленным хаосом.

Наиболее важным и заманчивым приложением теории нелинейных систем с хаотическим поведением является прогнозирование динамики порождаемых ими временных рядов в СЭЭС. При этом оказывается, что методы теории вероятностей зачастую работают хуже, чем методы теории динамических систем. В последнее время все большее внимание уделяется исследованию и прогнозированию, например, финансовых временных рядов с использованием теории динамических систем. Финансовый временной ряд — это последовательность, описывающая поведение определенного рыночного процесса. Эти ряды могут быть описаны обыкновенным дифференциальным уравнением конечного порядка. Для прогнозирования динамики временного ряда нужно *восстановить* "правую часть" этого уравнения. В некоторых работах проводились оценки длины временного ряда, необходимой для такого восстановления. Оценки показывают, что в большинстве случаев имеющихся данных недостаточно. Для решения этой проблемы можно предложить несколько подходов.

В терминах синергетики может быть проведен как качественный, так и формально – математический анализ процессов развития сложных СЭЭС. Основное качественное понятие синергетики – понятие «самоорганизации». Самоорганизация характерна для всех процессов развития. Основной акцент в синергетике переносится с взаимодействия элементов сложной системы на внешние эффекты, порождаемые структурными изменениями. Эти эффекты принято называть синергетическими, или кооперативными. Основная особенность кооперативных эффектов – упорядоченность, целенаправленность поведения сложной системы при относительной хаотичности поведения отдельных элементов. В процессе развития происходит некоторая стандартизация, унификация преобразований структуры и функций системы, т. е. для развития характерен изоморфизм. Изоморфизм позволяет перейти от натурального изучения процесса развития к модельному изучению. Наиболее развитые математические модели развивающихся систем обычно удовлетворяют в той или иной мере трем основным свойствам: реалистичность, точность, общность. Для развивающихся систем характерны, с одной стороны,

устойчивость структуры, с другой – потеря устойчивости, разрушение одной структуры и создание другой устойчивой структуры. Время пребывания развивающихся систем различной природы в устойчивых состояниях (соответствующих устойчивой структуре), естественно, различно, но не зависит от природы системы. Таким образом, процесс развития можно представить как последовательность циклов эволюционного изменения состояний внутри цикла, со скачкообразным переходом состояния в конце цикла на новый качественный уровень, означающий начало нового цикла развития.

Следствие циклического развития (с перескоком в конце цикла на качественно новый уровень) – необратимость, т. е. невозможность перехода от новообразованной структуры к старой разрушенной структуре. Необратимость, так же как «устойчивость» и «потеря устойчивости», — атрибут любой развивающейся системы или отображающей ее математической модели. При этом свойство необратимости развития в свою очередь накладывает определенные требования на устойчивость системы. Ясно, что слишком устойчивая система (гиперустойчивая) к развитию неспособна, так как она подавляет любые отклонения от своего гиперустойчивого состояния. При переходе в качественно новое состояние система обязательно должна в какой-то момент оказаться неустойчивой. Однако перманентная неустойчивость — это другая крайность, так же вредная для развивающейся системы, как и гиперустойчивость, ибо она исключает запоминание, закрепление в системе характеристик, полезных для взаимодействия с внешней средой, т. е. того, что определяет устойчивую структуру системы. В математической модели развивающейся системы обязательно должны быть отражены объективные соотношения между «устойчивостью» системы и ее «неустойчивостью», порождающей необратимые изменения, т. е. процесс развития.

Предсказать поведения траекторий хаотических систем на длительное время невозможно, поскольку чувствительность к начальным условиям высока, а начальные условия, как в реальных экспериментах так и при компьютерном моделировании, можно задать лишь с конечной точностью.

В этой ситуации уместен вопрос: если предсказывать, даже с помощью современных компьютерных технологий, так непросто, то как же нам удастся ориентироваться в нашем сложном и быстро меняющемся мире? Как удастся разумно действовать, несмотря на свой весьма скромный горизонт прогноза? Попытки получить ответ на этот вопрос, а с ним и алгоритмы прогноза, предпринимаются в создаваемой сейчас теории русел и джокеров.

На первый взгляд, природа хаоса исключает возможность управлять им. В действительности же дело обстоит с точностью до наоборот: неустойчивость траекторий хаотических систем делает их чрезвычайно чувствительными к управлению.

Пусть, например, имеется система со странным аттрактором, и требуется перевести фазовую траекторию из одной точки аттрактора в другую. Хаотические траектории обладают свойством с течением времени попадать в окрестность *любой* точки, принадлежащей аттрактору. Если нужно, чтобы это произошло через время, не большее, чем T , требуемый результат может быть

получен за счет одного или серии малозаметных, незначительных возмущений траектории. Каждое из этих возмущений лишь слегка меняет траекторию. Но через некоторое время накопление и экспоненциальное усиление малых возмущений приводит к достаточно сильной коррекции траектории. При правильном выборе возмущений это позволяет решить поставленную задачу, не уводя траекторию с хаотического аттрактора.

Таким образом, системы с хаосом демонстрируют одновременно и хорошую управляемость и удивительную пластичность: система чутко реагирует на внешние воздействия, при этом сохраняя тип движения. Комбинация управляемости и пластичности, по мнению многих исследователей, является причиной того, что хаотическая динамика является характерным типом поведения для многих жизненно важных систем. Такие системы должны быть достаточно чувствительны к "инновационным" возмущениям и реагировать на них путем коррекции "траекторий", чтобы обладать способностью к эволюции, но при этом оставаться на своем аттракторе и сохранять в целом тип поведения, свойственный данной системе. Если система теряет эти свойства, то даже значительный запас "механической прочности" может оказаться недостаточным по отношению к воздействию малых динамических возмущений, и внешне благополучная система может потерять устойчивость и разрушиться.

Хаос, как бы он ни был интересен, — это лишь часть сложного поведения нелинейных систем. Существует также не поддающееся интуитивному осознанию явление, которое можно было бы назвать антихаосом. Оно выражается в том, что некоторые весьма беспорядочные системы спонтанно "кристаллизуются", приобретая высокую степень упорядоченности.

Есть ряд аргументов в пользу того, что наряду с хорошо изученными тремя типами поведения динамических систем — стационарными состояниями, периодическими и квазипериодическими колебаниями, а также хаосом, существует и четвертый, специфический тип поведения на границе между регулярным движением и хаосом. Было замечено, что на этой границе, которую называют "кромкой хаоса", могут иметь место процессы, подобные процессам эволюции и обработки информации.

В противоположность динамическому хаосу, рассматриваемое явление, именуемое иногда комплексностью (complexity), возникает в системах, состоящих из многих взаимодействующих элементов. Такие системы часто не только демонстрируют четвертый тип поведения, но и обладают адаптивными свойствами, если под адаптацией понимать резкое упрощение динамики системы по сравнению с многомерной хаотической динамикой совокупности ее изолированных элементов.

Система с большим числом взаимодействующих элементов естественным образом эволюционирует к критическому состоянию, в котором малое событие может привести к катастрофе. Хотя в составных системах происходит больше незначительных событий, чем катастроф, цепные реакции всех масштабов являются неотъемлемой частью динамики. Как следует из теории критичности, малые события вызывает тот же механизм, что и крупные. Более того,

составные части системы никогда не достигают равновесия, а вместо этого эволюционируют от одного метастабильного состояния к другому. Концепция самоорганизованной критичности предполагает, что глобальные характеристики, такие как относительное число больших и малых событий, не зависят от микроскопических механизмов. Именно поэтому глобальные характеристики системы нельзя понять, анализируя ее части по отдельности.

Одна из главных задач синергетики — это познание общих принципов, лежащих в основе процессов самоорганизации, реализующихся в системах самой разной природы: физических, биологических, технических и социально-экономических. Синергетический стиль научного мышления включает в себя, с одной стороны, вероятностное видение мира, получившее бурное развитие в XIX веке. С другой стороны, синергетику можно рассматривать как современный этап развития кибернетики и системных исследований. Концепции и идеи теории самоорганизации нашли свое выражение в таких взаимосвязанных областях как теория диссипативных структур, теория детерминированного хаоса, теория катастроф.

Большинство интересующих нас систем — экологические, экономические, природные и социально-природные комплексы, живые организмы, города, предприятия, экономические структуры — являются открытыми неравновесными системами, управляемыми нелинейными законами. Они обнаруживают невозможную в области действия линейных законов способность к самоорганизации, резонансным образом реагируют на внешние воздействия, а их поведение неоднозначно определяется предшествующей историей их эволюции. Необходимость учета всех этих свойств в деятельности человека очевидна. Но такой учет возможен только на основе перестройки мышления. Новое мышление в его, так сказать, техническом применении должно быть нелинейным. Интересно заметить, что мысль о необходимости демократизации хозяйственной и политической жизни полностью соответствует концепции самоорганизации, раскрывающей объективные возможности и условия самопроизвольного формирования и самовоспроизведения устойчивых сложных структур.

На основе синергетического подхода осуществлен прорыв в трудной проблеме синтеза систем управления широким классом нелинейных многомерных объектов, что позволило впервые разработать общую теорию и методы аналитического конструирования систем скалярного, векторного, разрывного, селективно-инвариантного, многокритериального и терминального управлений нелинейными динамическими объектами различной физической природы, в том числе и с учетом ограничений на координаты и управления.

Характерной чертой современного этапа развития экономической науки является ее математизация, которая проявляется в замене изучаемого экономического процесса адекватной математической моделью и последующем исследовании свойств этой модели либо аналитическими методами, либо на основе проведения компьютерного эксперимента. Использование математических моделей в экономике имеет более чем столетнюю историю.

К настоящему времени в экономической теории прочно закрепились различные модели взаимодействия рынков рабочей силы, товаров и денег, модели однопродуктовой и многопродуктовой фирм, модели поведения потребителя, модель конкуренции фирм на рынке товаров и др., которые, по существу, являются равновесными моделями.

Так как подавляющее большинство экономических процессов протекают во времени, то соответствующие математические модели являются в принципе динамическими. Динамические модели хорошо зарекомендовавшие себя в физике, а затем в биологии, имеют много общего, хотя и сохраняют специфические особенности каждой из этих наук. Сейчас модели этого класса широко применяются в социологии и экономике. К настоящему времени современная методология анализа нелинейных динамических систем оформилась в новое научное направление, называемое *синергетикой*. Эта междисциплинарная наука нацелена на выявление общих принципов эволюции и самоорганизации сложных систем в различных областях знания на основе построения и исследования нелинейных динамических моделей. Важными понятиями синергетики являются: катастрофа, бифуркация, предельный цикл, странный аттрактор, диссипативная структура, бегущая волна и т.п. Возникающие при использовании сравнительно простых нелинейных моделей, эти понятия позволяют нам глубже проникнуть в суть многих процессов и явлений. Универсальная методология, возникшая сравнительно недавно и хорошо зарекомендовавшая себя в естествознании, стала проникать и в традиционно гуманитарные науки, и в первую очередь в экономику. Можно утверждать, что любой раздел экономической науки может быть отнесен к области приложений синергетики.

Общая модель экономической динамики с различными скоростями роста установления:

$$\dot{x} = \lambda^j f(x, u) \text{ или } \dot{x}_i = \lambda^j f_i(x_1, \dots, x_n; u_1, \dots, u_r),$$

$$i = \overline{1, n}, \quad j = -1, 0, 1, \dots, m, \quad n \geq m, \quad (1.11)$$

где x_i - компоненты вектора x экономических (социальных) переменных: монетарных, количественных или технологических); f_i — непрерывно дифференцируемые функции; u — вектор влияния внешней среды (вектор управления или/и возмущения); λ — параметр, который определяет меру скорости установления экономических переменных (ЭП). Для простоты будем считать, что параметр λ принимает достаточно малые значения [138, 140-143].

В различных экономических теориях скорость установления одних и тех же ЭП могут быть весьма разными, т. е. скорости установления ЭП по-разному трактуются экономистами. Скорость установления ЭП определяется многими факторами и, в частности, тесно связана с экономическим строем в стране. Изменение структуры в экономике (т. е. переход от «капитализма к социализму» или от «социализма к капитализму») всегда вызывают изменения в скоростях установления ЭП. С точки зрения «чистой» экономики все экономические системы в мире являются смешанными в том смысле, что нет

стран с чисто плановой экономикой (ПЭ) или идеальной конкурентной (КЭ), хотя степень перемешивания для разных стран разная. А какая степень перемешивания? То есть каково соотношение ПЭ \oplus КЭ, где \oplus - символ некоторого перемешивания. Существуют различные частные варианты модели (1.11), а именно: динамическая модель Вальраса, динамическая модель Маршалла, динамическая модель Шумпетера, динамическая модель Кейнса, динамическая модель Тобина, стандартная неоклассическая модель роста и др.

Поскольку размерность полной модели динамики экономики обычно очень высока и система потенциально нестабильна, то из теории синергетической экономики известно, что она может проявлять очень сложное поведение. Однако, применяя принцип подчинения Хакена и теорему о центральном многообразии, можно свести эту многомерную сложную задачу к относительно низкоразмерной так, что становится возможным понять некоторые свойства таких динамических систем.

Экономическое развитие – очень сложный процесс, в котором часто одновременно соседствуют и успехи, и неудачи. В развивающихся странах экономический механизм не работает так идеально, как в странах развитых. Основные проблемы, которые стоят перед развитыми и развивающимися странами, весьма различны. Развивающиеся страны обычно сталкиваются с низкой эффективностью производства, низкой прибылью, коррупцией чиновников, массовым загрязнением окружающей среды и т. д.

В развитых странах – проблемы безработицы и высокой инфляции. Эти проблемы отражают те различные заботы, с которыми можно встретиться на разных уровнях экономического развития.

Многие получают, что в развивающихся странах экономический взлет (Росту) может достигнуть, если у них имеется достаточная финансовая поддержка и другие благоприятные внешние условия. Однако в синергетической экономике показано, что структурные изменения в системе возникают, когда она находится вблизи критической точки. С другой стороны, если система устойчива, малые сдвиги параметров могут привести лишь к малым изменениям экономического положения(состояния). Т.к. критические точки определяются структурой системы в целом, изменение какой-то одной стратегии вряд ли вызовет структурные изменения всего характера экономического развития, когда общество во многих других аспектах не подготовлено к такой внезапной перемене. Никакие внешние изменения не смогут оказать на общество чрезмерного влияния, если в целом оно к этому не готово. Поскольку структурные перемены в экономическом развитии определяются многими факторами, процесс трансформации общества от одного состояния к другому протекает обычно довольно долго.

С точки зрения синергетической экономики, экономическое развитие не может определяться чисто экономическими факторами, Экономические структуры определяются взаимодействием различных экономических и социальных переменных. Следовательно, если иметь в виду далеко идущие планы, перспективу общества, то структуры общественных институтов и

качество жизни населения для правительства намного важнее, чем контроль над инфляцией и планирование производства (чисто экономические проблемы).

Современные информационные технологии в СЭЭС. Из-за наличия большого разнообразия информации по указанному вопросу, здесь перечислим лишь применения некоторых информационных систем и технологий в СЭЭС. А именно: пакеты прикладных программ (ППП) IT, пакеты обработки экономической информации, Microsoft Office для задач экономики, ППП вычислительные, математические, пакеты комплексной автоматизации (ПКА) управления предприятием (ПКА предприятия «БОСС – Компания», ПКА предприятия «Парус», ПКА предприятия «NS 2000», ПКА предприятия «Галактика», ПКА предприятия «Олимп», ПКА предприятия «Эталон» и др.), технологии компьютерных сетей в СЭЭС, корпоративные информационные системы в экономике, программные продукты стратегического корпоративного планирования, пакет «Project expert», пакет «Project Integrator», пакет «Marketing Expert», пакет «BIZ PLANNER», пакет «AUDIT EXPERT», пакет «Project Questionnaire & Risk», пакет «Project Risk», пакет «Forecast Expert», MS Project 98, интеллектуальные информационные системы (ИСППР), ЭС и др.), пакеты информационных технологий в маркетинге и в маркетинговых исследованиях (пакет «ОЛИМП» - инструментальная поддержка маркетинговых исследований), ИС в международном бизнесе, ИС в управлении персоналом и многие другие.

Проблема нелинейного анализа процессов в производственно-экономических системах с хаотической динамикой (краткий обзор). Хаотическими назовем нелинейные системы уравнений, имеющие нерегулярные аттракторы. Рассмотрим примеры как классических, так и менее известных хаотических систем [39,41, 232-284]. Присутствие хаоса является неотъемлемой частью большинства нелинейных динамических систем (НДС), описывающих достаточно сложные процессы и явления. Хаотические системы (ХС) характеризуются повышенной чувствительностью к малым возмущениям системных параметров и начальных условий, вследствие чего в течение многих лет поведение таких систем считалось непредсказуемым и неуправляемым. Существовало мнение, что достигнуть желаемое поведение системы можно только подавив в ней хаос пусть даже большими и дорогостоящими изменениями в самой системе, ведущими к изменению ее динамики в целом. Поставленная задача сводилась к выбору управляющих воздействий либо в разомкнутой форме (программное управление), либо в виде обратной связи по состоянию или выходу с целью приведения решения системы к заданному периодическому виду или с целью синхронизации решения системы с решением некоторой другой системы, обладающей нужными регулярными свойствами. Другими словами, решалась задача стабилизации заданной или желаемой траектории в системе с хаотическим поведением. Однако в последние годы пришло понимание особой роли хаоса в самоорганизации различных процессов и явлений. Было осознано, что хаос не только не мешает, а скорее является непременным условием работоспособности сложных систем, таких, например, как человеческий мозг. Только благодаря наличию

число параметров, определяющих их динамику, и выявлять взаимосвязи между ними, т.е. нужен системный синтез [39].

Среди всего множества, предложенных в литературе нелинейных моделей сложных процессов, представим наиболее известные:

Уравнение Ферхюльста: $\dot{X} = \alpha X \frac{(X_0 - X)}{X_0}$, X_0, X -максимально (предельно)

возможное и текущее значение исследуемой величины, причем X_0 не зависит от времени, т.е. X_0 - максимальный ресурс.

Уравнения (модель) Лотки-Вольтерры:

$$\begin{cases} \dot{X}_1 = X_1(\alpha_1 - \gamma_1 X_2); \\ \dot{X}_2 = -X_2(\alpha_2 - \gamma_2 X_1). \end{cases}$$

Уравнение с запаздыванием (модель Хатчинсона):

$$\dot{x} = x(t)(1 - x(t - \tau)).$$

Дискретный аналог уравнения Ферхюльста:

$$x_{n+1} = \lambda x_n (1 - x_n).$$

Некоторые модификации модели Ферхюльста:

$$x_{n+1} = \alpha x_n \cdot \exp(-x_n) - \text{модель Риккера};$$

$$x_{n+1} = \alpha x_n \cdot (1 + \gamma x_n)^{-\beta} - \text{модель Хассела}.$$

Пространственная модель:

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} = d_i x_i \left(1 - \frac{x_i}{x_i^*} \right) + D_i \nabla_r^2 x_i(t/r); r = (r_1, r_2, r_3).$$

Мультилогистическое уравнение (учет условий конкуренций):

$$\dot{x}_{ii} = x_{ii} \left[d_i - \beta_i x_{ii} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \gamma_{ij} x_{ij} \right] + D_i \nabla_r^2 x_{ii},$$

Мультипликативно-аддитивная стохастическая модель (МАСМ) нелинейной динамики – обобщенное логистическое уравнение (ОЛУ):

$$\dot{x}_{ii} = \xi_{ii} x_{ii} \left[d_i - \beta_i x_{ii} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \gamma_{ij} x_{ij} \right] + D_i \nabla_r^2 x_{ii} + \eta_{ii}, i = \overline{1, n}.$$

МАСМ с управлением:

$$x_{ii} = \xi_{ii} x_{ii} \left[v_t' - v_i'' x_{ii} - \sum_j v_{ij} x_{ij} \right] + D_i \nabla_r^2 x_{ii} + \eta_i + U_{ii},$$

где $\{v\}$ – множество контролируемых параметров;

U_{ii}, ξ – управляющие переменные; $v \in V, u \in U$.

Обобщение логистическое отображение Сергеева Л.Н.[17]:

$$x_{t+1} = \lambda \cdot x_t^\alpha (1 - x_t^\beta)^\gamma, \quad x_t \in [0,1]$$

Для нестационарной нелинейной модели на основе МАС нужно учесть зависимости: $v_{ij} = v_{ij}(t)$, $v' v'' = v''(t)$.

Модель конкуренции двух фирм.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_1(\alpha_1 - \beta_1 x_1 - \gamma_1 x_2) \\ \dot{x}_2 = x_2(\alpha_2 - \beta_2 x_2 - \gamma_2 x_1) \end{cases}$$

В данной модели 6 параметров $(\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2)$, некоторые из которых являются управляющими и в зависимости от значений этих управляющих параметров поведение системы в динамике может быть различным. Заметим, что для анализа модели важно сократить число параметров, т.е. найти её некую каноническую форму описания.

Модель Холлинга – Тэннера. Предположим в модели «хищник – жертва» (модель 2), что для поддержания жизни одного хищника требуется J жертв. Это предположение очень резонно.

Наличие хищников приводит к появлению в уравнении слагаемого вида $\omega x_1 x_2 / (CD + x_1)$. Это слагаемое учитывает убыль жертв в связи с охотой хищников:

$$\dot{x}_1 = rx_1 \left(1 - \frac{x_1}{K}\right) - \frac{\omega x_1 x_2}{D + x_1}, \quad \dot{x}_2 = sx_2 \left(1 - Jx_2 / x_1\right)$$

Система уравнений Лоренца. Система трех нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, названная системой уравнений Лоренца [8-10]:

$$\dot{x} = \sigma(y - x), \quad \dot{y} = x(r - z) - y, \quad \dot{z} = xy - bz$$

является исторически первой динамической системой, в которой было показано существование нерегулярного аттрактора (аттрактора Лоренца при $\sigma = 10$, $b = 8/3$, $24.06 < r < 28$).

Системы уравнений Рёсслера. Рёсслером [267] предложен ряд нелинейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений для моделирования некоторых гипотетических химических реакций, обладающих хаотическим поведением, наиболее известная из которых имеет вид:

$$\dot{x} = -y - x, \quad \dot{y} = x + ay, \quad \dot{z} = b + z(x - \mu).$$

Система Чуа. Система Чуа моделирует некоторую электрическую цепь, предложенную Л. Чуа для генерации хаотических колебаний [15, 16]. Поведение этой электрической цепи и одноименной системы обыкновенных дифференциальных уравнений широко изучалось как в многочисленных физических опытах, так и математическими методами, включая численные эксперименты и аналитические расчеты [39, 41, 273-275].

Модели социального и эколого-экономического управления, учитывающие влияние стохастических воздействий, должна отражать степень, с которой эти экзогенные силы могут повлиять на конечные результаты моделирования. Функционирование и развитие сложной системы в условиях нестабильной внешней среды и конкуренции зависит от причин, прогнозировать которые с

абсолютной точностью не представляется возможным. Такие причины обычно описываются как флуктуирующие (стохастические) воздействия (шумы). Таким образом, обобщенную динамическую нелинейную модель можно представить в виде мультипликативно-аддитивной стохастической модели с распределенными переменными и с хаотическим поведением, т.е. [7]:

$$\dot{x}_i = \left[\xi_i(t)x_i \left(1 - \sum_{j=1}^n a_{ij}(t)x_j \right) + \sum_{l=1}^3 d_{il} \frac{\partial^2 x_i}{\partial r_l^2} + w_i \right] + u_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (1.13)$$

где $x_i = x_i(r, t)$ – координаты вектора состояния, $i = 1, 2, \dots, n$, $r = (r_1, r_2, r_3)$ – вектор пространственного распределения; $\xi_i(t)$ и $w_i(t)$ – стохастическое возмущающее воздействие с заданными вероятностными характеристиками, причем $\xi_i(t)$ может играть роль "малого" мультипликативного управляющего воздействия для контроля хаотического поведения системы; $a_{ij}(t)$ – экзогенные переменные (параметры), определяющие нестационарное воздействие внешней среды на данную систему; d_{il} – коэффициенты диффузии; u_i – внешние управляющие воздействия, причем $u_i \in U_i$, где U_i – область допустимых управлений. Дискретную модель эволюции системы, состоящей из многих взаимодействующих подсистем (например, фирм, предприятий), соответствующую (1.13), можно представить как следующий итерационный процесс:

$$x_i(k+1) = \left[\xi_i(k)x_i(k) \left(1 - \sum_{j=1}^n a_{ij}(k)x_j(k) \right) + \sum_{l=1}^3 d_{il} \frac{\partial^2 x_i(k)}{\partial r_l^2} + w_i(k) \right] + u_i(k), \\ k = 0, 1, 2, \dots, \quad i = 1, \dots, n.$$

Итак, предложены различные нелинейные модели анализа динамики сложных процессов, а также нелинейная стохастическая мультипликативно-аддитивная модель системы с хаотическим поведением, которые могут быть использованы для анализа процессов в социально-экономических системах.

Выводы по первому разделу.

1. Современные ПЭС, в частности промышленные предприятия такие как ОФ функционируют в сложной нестабильной внешней среде, потребляя природные ресурсы и занимая земельные площади, и выделяя в нее товарные продукты, отходы, вредные выбросы в атмосферу, нефтепродукты и твердые частицы со сточными водами. Низкое качество товарных продуктов оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду при сжигании (химсостав золы, содержание в угле серы, фосфора и др.). Занятые под промплощадку фабрики, породные отвалы и илонакопители земельные участки являются источниками загрязнения окружающей среды (пыль, газ от возгорания и др.).

2. Важным направлением снижения уровня загрязнения окружающей среды является автоматизация технологических процессов по критериям,

учитывающим влияние на экологическую ситуацию, т.е. по комплексным эколого-технологическим критериям.

3. Функции экологического мониторинга в СЭЭМ целесообразно сосредоточить на АРМ эколога ОФ, функции которого по распределению должностных обязанностей в настоящее время выполняет заместитель главного инженера фабрики, а диспетчеру ОФ достаточно выдавать информацию только о значениях экологических параметров.

4. Автоматизация технологических процессов и производства в целом приобретает все возрастающее значение, так как она призвана повысить производительность, обеспечить рынок товарным продуктом требуемого качества, снизить потери угля с отходами, решить социальные проблемы повышения безопасности и загрязнения окружающей среды, снижения трудоемкости и улучшения условий труда, повышения его престижа и интеллектуального содержания.

5. Существующая концепция диспетчеризации в недостаточной мере учитывает необходимость повышения экологической безопасности.

6. ОФ представляет собой сложный производственно-транспортный комплекс, содержащий три транспортных потока: входной поток (ж/д, гидро- и конвейерный), внутренний поток (конвейерный и трубопроводный) и выходной (ж/д и автомобильный).

7. Существующая концепция создания ИАСУ ОФ не соответствует современным требованиям, и необходимо ее уточнение и доработка с учетом экологической безопасности и необходимости перехода к рыночным отношениям. В функциональном плане необходимо реализовать информационно-управляющий и советующий режим управления с использованием адаптивных и оптимальных систем управления, их интеллектуализации на всех уровнях иерархии.

8. В существующих ИАСУ ОФ не автоматизированы функции принятия управленческих решений в условиях нечеткой информации, смешанной неопределенности и рисков, не используется опыт и знания специалистов, не решается проблема создания средств и методов эколого-экономического мониторинга с системных позиций и др.

Таким образом, актуальной является научно-техническая проблема разработки и создания интегрированной автоматизированной системы управления и принятия эколого-экономических решений для производственно-транспортных процессов ОФ (ПТК), функционирующих в системе эколого-экономического управления и мониторинга и нестабильной внешней среды.

Поэтому данная монография посвящена решению проблем эколого-экономического моделирования и управления производственной системой в рамках ИАСУ, обеспечивающих повышение экономической эффективности производства и экологической безопасности в условиях нестабильной экономики, т.е. в условиях стохастичности внешней среды, расплывчатости и неопределенности имеющейся информации и рисков. Для реализации поставленной задачи необходима исследование и разработка:

- концепции и принципов ЭЭМ в интегрированных автоматизированных интеллектуальных системах управления производственно-транспортными комплексами ОФ и принятия решений в системе экологического мониторинга при отсутствии полной информации, ее расплывчатости и неопределенности;
- комплексных эколого-экономических моделей и критериев глобального и локального управления и принятия решений для ПЭС;
- эколого-экономических и транспортно-производственных моделей и алгоритмов функционирования ПЭС, в том числе элементов автоматизированной системы оперативного диспетчерского управления и планирования;
- методов, моделей и алгоритмов оценивания и прогнозирования состояния атмосферного воздуха в зоне ПЭС (техногенного промышленного предприятия - ОФ) в условиях стохастической неопределенности;
- интегрированной автоматизированной системы управления ПЭС (ПТК) с использованием методов интеллектуализации и нечетких гибридных регуляторов, функционирующих в условиях смешанной неопределенности и на основе сети АРМ всех уровней иерархии.

Отработка конкретных параметров и свойств систем должна быть выполнена при промышленной реализации программно-математических комплексов для подсистем ИАСУ ПЭС(ОФ), функционирующих в составе СЭЭМ.

РАЗДЕЛ 2

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО - ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКОВ

2.1. Динамическая модель управления трансформационной экономикой в условиях неопределенностей и рисков

Проблема управления трансформационной экономикой (ТЭ) как суперсложной системой с целью перевода ее в состояние социально и экологически ориентированной рыночной экономики (СЭОРЭ) является актуальной. Данную задачу математически можно сформулировать следующим образом.

Пусть $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$ – фазовый вектор макроэкономических (или социально-экономических) переменных (параметров), который описывает состояние экономической системы в момент времени t .

Изменение во времени вектора $x(t)$ удовлетворяет нелинейному дифференциальному уравнению (синергетическое уравнение) [54, 102, 145]:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), v(t), t), \quad t \geq t_0, \quad x(t_0) = x_0 \in X_0. \quad (2.1)$$

Здесь $u(t) = (u_1(t), \dots, u_p(t))$ – вектор управления (элементы принятия решений), координаты которого характеризуют режим экономической деятельности в момент времени t ; $v(t) = (v_1(t), \dots, v_p(t))$ – вектор внешних возмущающих факторов, элементы которого характеризуют различные неопределенные воздействия (или воздействия противной стороны), т.е. это может быть, в частности, и вектор помех; t_0 – настоящий (начальный) момент времени; $X_0 \subset R^n$. Решение $x(\cdot) = (x(t), t \geq t_0)$ уравнения (2.1) является траекторией движения от ТЭ к СЭОРЭ.

Предполагается, что векторы управления $u(t)$ и помех $v(t)$ удовлетворяют заданным ограничениям:

$$u(t) \in U, \quad v(t) \in V, \quad t \geq t_0 \quad (2.2)$$

где $U \subset R^p$ и $V \subset R^q$.

Отображение (функция): $f : R^n \times U \times V \times R \rightarrow R^n$ определено экономическими законами и/или балансовыми соотношениями и соответствует реальному состоянию экономики.

Теперь задачу можно поставить в следующей форме: требуется определить (оценить) вектор управления $u(t)$ (вектор компонент принимаемых экономических решений), который обеспечивает «оптимальный» в некотором заданном смысле движение от ТЭ к СЭОРЭ и удовлетворяет заданным требованиям, которые можно формализовать в виде условий:

$$x(T) \in X_T, \quad x(t) \in X_B \quad \text{при } 0 \leq t \leq T, \quad (2.3)$$

где X_T – фазовое пространство допустимых (желаемых) состояний СЭОРЭ;
 X_B – множество (область) безопасного (безрискового) перехода;
 $T = \varphi(x(\cdot))$ – момент попадания в желаемое состояние (т.е. момент первых попаданий $x(t)$ в множество X_T).

Заметим, что здесь задача решается в условиях неопределенности по вектору $v(t)$ и причем либо программным путем (что не совсем приемлемо для современных экономических систем) в виде определения управления $u(\cdot) = (u(t), t \geq t_0)$ в начальный момент t_0 как фиксированной функции времени, определенной на всем последующем промежутке времени, либо по принципу обратной связи (и адаптивно по информации), когда управление формируется в процессе перехода в зависимости от поступающей информации и новых знаний, например, в виде $U(x(t), t)$.

Положим, что в процессе перехода от ТЭ к СЭОРЭ можно измерить (получить) наблюдения только какой-либо части компонент вектора $x(t)$, например, первые $(m < n)$ компонент $(X_m(t) = (x_1(t), \dots, x_m(t)))$. Тогда управление $u(t)$ определяется как функция от $X_m(t)$, т.е. от поступающей информации, т.е. $u(t) = F(x_m(t))$ при $t \geq t_0$, причем $u(t) \in U$, где формирование F является стратегией управления и $F \in \mathfrak{F}$ – множество допустимых стратегий.

Итак, задача управления переходом состоит в построении стратегии F^0 , которая гарантирует выполнение следующих условий: для любой помехи $v(t) \in V$ и начального (настоящего) состояния $x_0 \in X_0$ для траектории перехода $x(\cdot) = (x(t), t \geq t_0)$ управляемой ЭС:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), F^0(x_m(t)), v(t), t) \quad (2.4)$$

должны быть соблюдены условия (2.3).

Пусть $\mathfrak{N}[X_0, F]$ – множество траекторий перехода $x(\cdot)$ системы:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), F(x_m(t)), v(t), t), x(t_0) = x_0 \in X_0, t \geq t_0, \quad (2.5)$$

которое получается при переборе всех начальных точек $x_0 \in X_0$ и всех допустимых помех $v(\cdot) = (v(t) \in V, t \geq t_0)$. Обозначим через $\overline{\mathfrak{N}}$ совокупность всех непрерывных функций $x(\cdot)$, для каждой из которых выполнены условия:

* существует момент времени $T = \varphi(x(\cdot))$, когда впервые $x(t) \in X_T$;

* выполняется условие безрискового перехода, т.е. $x(t) \in X_B$ при $t_0 \leq t \leq T(x(\cdot))$.

Таким образом, рассматриваемую задачу управления переходом теперь можно переформулировать следующим образом: в классе допустимых стратегий требуется определить стратегию $F^0 \in \mathfrak{F}$, для которой справедливо выполнение условия $\mathfrak{N}[X_0, F^0] \subset \overline{\mathfrak{N}}$.

Для формулировки одного из вариантов данной задачи введем некоторый функционал эффективного управления (показателя качества) $J[x(\cdot)]$, заданного на траекториях ЭС, т.е. качество стратегии F^0 оценивается значением

функционала J , которое он принимает на самой неблагоприятной траектории из пучка $\aleph[\Omega_0, F]$, где $\Omega_0 = t_0 \times X_0$ и стратегию $F^0 \in \aleph$ требуется выбрать так, чтобы такая оценка была наименьшей.

Таким образом, теперь можно сформулировать следующую задачу: требуется определить стратегию $F^0 \subset F$, удовлетворяющую условию:

$$T^*[\Omega_0, F^0] = \min_{F \in \aleph} \sup_{x(\cdot) \in \aleph[\Omega_0, F^0]} J[x(\cdot)];$$

если минимум $b(\cdot)$ не достигается, то для произвольно малого $\varepsilon > 0$ требуется определить стратегию F_ε такую, что:

$$T^*[\Omega_0, F^0] \leq \inf_{F \in \aleph} \left\{ \sup_{x(\cdot) \in \aleph[\Omega_0, F^0]} J[x(\cdot)] \right\} + \varepsilon.$$

Такую постановку можно назвать игровой, в которой выбор F является стратегией 1-го игрока, а выбор $X(\cdot) \in \aleph[\Omega_0, F]$ – стратегия 2-го игрока. Игровые и оптимальные методы решение данной задачи разработаны многими отечественными и зарубежными учеными [21, 145, 147].

2.2. Интегральная нелинейная динамическая эколого-экономическая модель ПЭС

Рассмотрим обобщенную динамическую эколого-экономическую модель (ОЭЭМ) в целом без учета случайных воздействий на систему, т.е. предположим, что система S состоит из n предпринимателей, включая и производителей, и потребителей. Поведение каждого предпринимателя характеризуется некоторым m -мерным вектором: $x_i = (x_{1i}, \dots, x_{mi})$ ($i = \overline{1, n}$). Переменные x_{ij} могут представлять, например, реальные потребления или производство i -го предпринимателя.

Пусть имеется r переменных влияния внешней нестабильной эколого-экономической среды (ВЭЭС) на предпринимателя, т.е. y_k , $k = \overline{1, r}$, которые представляют цены, зарплату, ставку процента и т.п., а также параметры состояния окружающих природных экосред т. д. Переменные y_k и x_{ij} зависят от времени. Заметим, что в общем случае они являются случайными процессами (или полями). Положим, что в каждый момент времени все предприниматели обладают идеально полной информацией о параметрах ВЭЭС. Предполагается также, что каждый предприниматель принимает решение о потреблении (производстве) на базе текущего потребления (производства) и значений переменных ВЭЭС.

Опуская «прямые взаимодействия» между предпринимателями, которые отражают конкуренцию или партнерство между ними, динамическое поведение i -го предпринимателя можно описать в виде [138]:

$$\dot{x}_{ij} = \lambda f_{ij}(x, y), \quad (2.6)$$

где λ — параметр, определяющий величину скорости установления микроэкономических переменных x_{ij} .

Заметим, что конкретные виды функций f_{ij} определяются по-разному.

Например, динамику ВЭЭС можно представить в виде следующих дифференциальных уравнений:

$$\dot{y}_k = g_k(x, y), \quad (2.7)$$

где g_k — некоторые непрерывно-дифференцируемые функции.

Таким образом, ОЭЭМ есть объединение уравнений (2.6) и (2.7).

Отметим, что если, например, λ достаточно велик, а y_k — цена i -го природного ресурса, то $f_{ij}(x, y) = 0$, $\dot{y}_k = g_k(x, y)$ и динамическая эколого-экономическая модель здесь содержит только динамику цен ресурсов.

В качестве примера ОЭЭМ (2.6) и (2.7) рассмотрим моделирование многосекторной эколого-экономической системы (ЭЭС) [95, 104, 146]. При этом рассмотрим n -секторную экономику со взаимно независимыми секторами, каждый из которых производит свой единственный продукт и каждый продукт производится одним единственным сектором. Каждый сектор инвестирует охрану и безопасность загрязнения окружающей среды (ОС). Построим динамическую модель ЭЭС в удельных показателях, т.е. введем следующие обозначения: k_i — фондовооруженность i -го сектора; α_i — доля конечного продукта $Y_i = f_i(k_i)$, используемого для инвестирования экономики i -го сектора, причем $0 \leq \alpha_i \leq 1$; β_i — доля конечного продукта, используемого для непроизводственного потребления, причем $0 \leq \beta_i \leq 1$; μ_i — коэффициент амортизации (износа) капитала i -го сектора, причем $0 \leq \mu_i \leq 1$; γ_i — доля конечного продукта, используемого для оценки объема загрязнения ОС, возникшего в результате производства конечного продукта объемом y_i , причем $0 \leq \gamma_i \leq 1$; $\tau_i = (1 - \alpha_i - \beta_i)$ — доля конечного продукта, используемого на борьбу (охрану, мониторинг и т. д.) с загрязнением окружающей среды, причем $\alpha_i + \beta_i \leq 1$. Здесь при наличии только равенства природоохранные мероприятия не проводятся и величина τ_i определяет степень экологизации. Кроме того, обозначим через z переменную загрязнения; λ ($\lambda > 1$) количество единиц загрязнения, которые уничтожаются одной единицей используемого конечного продукта; ν — коэффициент естественной убыли (ассимиляции) загрязнения (считается, что ОС обладает способностью ассимилировать определенную часть отходов производства), причем $0 < \nu < 1$.

Тогда динамическую модель n -секторной экономики, без учета экологии, можно представить в виде:

$$\dot{k}_i = \alpha_i f_i(k_i) - \mu_i k_i, \quad k_i(0) = k_{i0}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2.8)$$

Так как приращение загрязнения равняется разности между объемом произведенного загрязнения и объемом уничтоженного загрязнения как в результате непосредственной борьбы с ним, так и в результате естественной

убыли, динамику загрязнения можно описать (моделировать) следующим дифференциальным уравнением:

$$\dot{z} = \sum_{i=1}^n \gamma_i f_i(k_i) - \sum_{i=1}^n \lambda(1 - \alpha_i - \beta_i) f_i(k_i) - \nu z. \quad (2.9)$$

Для ЭЭС (2.8), (2.9) пространство переменных $(k, z) = (k_1, \dots, k_n, z)$ является фазовым пространством. В качестве управлений (внешних влияний на систему) возьмем переменные $(\alpha, \beta) = (\alpha_1, \dots, \alpha_n, \beta_1, \dots, \beta_n)$.

Эколого-экономический процесс (ЭЭП) будем изучать на промежутке времени $[t_0, t_m]$. Ограничения на управления имеют вид:

$$\begin{cases} 0 \leq \alpha_i \leq 1, & 0 \leq \beta_i \leq 1, & i = \overline{1, n}, \\ \alpha_i + \beta_i \leq 1, & i = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (2.10)$$

Ограничения на краевые условия:

$$\begin{cases} k(t_0) \in K_0(t_0), & k(t_m) \in K_m(t_m), \\ z(t_0) \in Z_0(t_0), & z(t_m) \in Z_m(t_m). \end{cases} \quad (2.11)$$

Эффективность (полезность) ЭЭП $\forall t \in [t_0, t_m]$ целесообразно оценивать значением некоторой (заданной) функции (функционалом) полезности (ФП) $u(c, z) = u(c_1, \dots, c_n, z) \equiv u(\beta_1 f_1(k_1), \dots, \beta_n f_n(k_n), z)$, которую будем считать определенной в $R_+^{n+1} = \{(c, z) : c_i \in R_+^1, z \in R_+^1\}$, непрерывной в R_+^{m+1} , монотонно возрастающей по c_i и монотонно убывающей по z , а также вогнутой по каждому аргументу.

Во многих случаях при моделировании ЭЭС ФП $u(c, z)$ считается сепарабельной:

$$u(c, z) = \sum_{i=1}^n u_i(c_i) + u_{n+1}(z). \quad (2.12)$$

Тогда полезность ЭЭП на $[t_0, t_m]$ можно оценить функционалом:

$$J(q) = \int_{t_0}^{t_m} \rho_0 e^{-\delta t} u(c, z) dt, \quad (2.13)$$

где $e^{-\delta t}$ – дисконтирующий множитель с константой $\delta > 0$;

$\rho_0 > 0$ – некоторый нормирующий коэффициент;

$q = (k, z, \alpha, \beta)$ – допустимый ЭЭП.

Итак, имеем задачу оптимального контроля и управления ЭЭП в виде:

$$J(q) \rightarrow \max_{q \in Q}. \quad (2.14)$$

Поскольку и сама производственно-экономическая система и ВЭЭС потенциально нестабильны, то из теории синергетической экономики известно, что она может проявлять очень сложное поведение. Однако, применяя принцип подчинения Хакена или теорему о центральном многообразии, можно свести эту многомерную сложную задачу к относительно низкоразмерной, так что становится возможным понять некоторые качественные свойства таких динамических систем.

В заключение отметим, что в модели (2.6) - (2.8) важно учесть также стохастические воздействия нестабильной внешней среды на экономическую систему.

Модели эколого-экономического управления, учитывающие влияние стохастических воздействий, должна отражать степень, с которой эти экзогенные факторы могут повлиять на конечные результаты моделирования. Если результаты моделирования решающим образом зависят от экзогенных стохастических воздействий и в малой степени испытывают влияние взаимодействия экономических переменных, модель не представляет интереса. С другой стороны, если учет стохастических эффектов оказывает малозаметное влияние на качественные результаты, то стохастические факторы могут быть полностью исключены из анализа. Однако флуктуации могут играть решающую роль в развитии экономики, даже если развитие определяется детерминированными механизмами. Влиянием флуктуаций на детерминированное развитие нельзя пренебречь в случае, если детерминированные уравнения рассматриваются вблизи критических точек.

2.3. Нелинейная стохастическая эколого-экономическая модель управления ПЭС

В условиях нестабильной эколого-экономической внешней среды (ВС) общее функционирование предприятия можно представить как стохастическую функцию производственной деятельности (СФПД) в виде:

$$Y(t) = F[x(t), a(t), \xi(t)], \quad (2.16)$$

где $F[x(t), a(t), \xi(t)]$ — оператор (функционал) производственной деятельности предприятия;

$x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$ — вектор ресурсов («чистый» вход);

$a(t)$ — вектор параметров ПФ;

$\xi(t)$ — случайное внешнее воздействие, т.е. процесс $\xi(t)$ характеризует влияние ВС на производственно-экономическую систему.

Частными вариантами описания СФПД экономического объекта (ЭО) могут быть: 1) $Y(t) = F[x(t), a(t)] + \xi(t)$ или $y(t) = \xi(t) \cdot F[x(t), a(t)]$;

$$2) Y(t) = a_0(t)x_1^{a_1}(t)x_2^{a_2}(t) \cdot \dots \cdot x_n^{a_n}(t) + \xi(t) \text{ или } y(t) = a_0(t) \cdot \xi(t) \prod_{j=1}^n x_j^{a_j}(t).$$

Модель процесса $\xi(t)$ может быть представлена как стохастическое дифференциальное уравнение $\dot{\xi}(t) = A(t)\xi(t) + \zeta(t)$ — динамика поведения ВС.

Интегральную структуру исследуемой системы рассмотрим как представлено на рис.2.1.

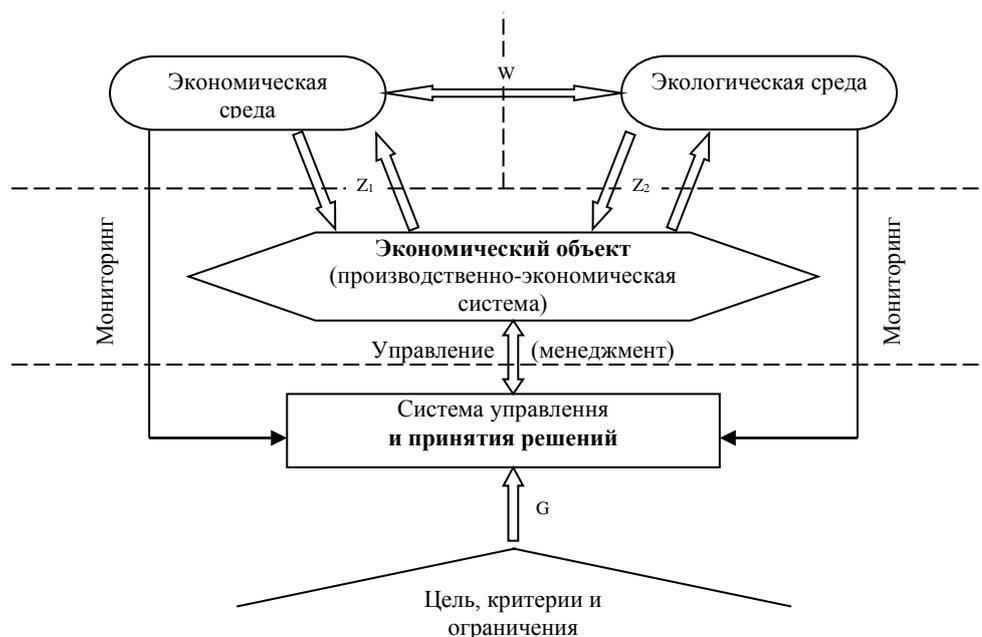


Рис. 2.1. Структура интегральной системы

Обычно используемые ПФ имеют только статический характер, т.е. они не соответствуют реальной динамике функционирования ПЭС в условиях нестабильной переходной экономики. Поэтому актуальным является вопрос рассмотрения и исследования ПФ, в которой учитываются как динамика, так и стохастичность влияния ВС, т. е., например, в виде:

$$y(t) = \int_{t_0}^t K(t, \tau)x(\tau)d\tau + \xi(t) \quad \text{или} \quad y(t) = \int_{t_0}^t K(t, \tau)\xi(\tau)x(\tau)d\tau,$$

где $K(t, \tau)$ — импульсно-переходная матрица;

$x^T(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$ — вектор ресурсов («вход»);

$\xi(t)$ — стохастический процесс возмущающих воздействий (экзогенные и/или эндогенные) на ПЭС.

Заметим, что $\xi(t)$ может быть и векторным процессом. Более того, ПФ важно задавать в виде нелинейного интегрального или дифференциального оператора, т.е. в виде:

$$\text{а) } y(t) = \int_{t_0}^t F[t, \tau, x(\tau)]d\tau + \xi(t) \quad \text{или}$$

$$y(t) = \int_{t_0}^t F[t, \tau, x(\tau), \xi(\tau)]d\tau;$$

$$\text{б) } \dot{y}(t) = \alpha y(t)[y_0 - y(t)] \quad \text{или} \quad \dot{y} = \alpha y(1 - y).$$

Важно заметить также, что некоторые компоненты вектора $x(t)$ могут изменяться согласно логистическому уравнению:

$$\dot{x}_i(t) = \beta x_i(t)[x_i^* - x_i(t)],$$

где x_i^* — возможное предельное значение (максимальная емкость или предельная возможность рынка ресурсов).

Таким образом, есть необходимость рассмотрения модели производственной деятельности предприятия с учетом эффекта «насыщения» по ресурсам в виде следующих уравнений: $y(t) = F[x(t), a(t), \xi(t)]$, $\dot{X}_i^*(t) = \alpha X_i^*[X_i^* - X_i(t)]$, $i = 1, \dots, n$.

Постановка задачи и вариант ее решения. Для начала получим обобщенную нелинейную динамическую модель Солоу (Рамсея). Пусть в каждый момент времени t выпуск («выход») делится на две части: $C(t)$ – полное потребление из выпуска производственной системы; $I(t)$ – капиталовложения (инвестиции) в развитие ПЭС, т.е. $Y(t) = C(t) + I(t)$, причем как обычно $Y(t) = F[K(t), L(t)]$, где $K(t)$ – основные фонды, а $L(t)$ – трудовые ресурсы (ТР). Введем норму отчисления $\alpha(t)$ на развитие (модернизацию) системы, т.е.:

$$Y(t) = C(t) + \alpha(t) \cdot Y(t) = (1 - \alpha)Y + \alpha Y, \quad 0 \leq \alpha(t) \leq 1.$$

Традиционно предполагают экспоненциальный рост трудовых ресурсов, т.е. $L(t) = L_0 \exp(n_0 t)$, $L_0 \equiv L(t_0)$, где n_0 — параметр темпа роста, т.е. $\dot{L} = n_0 L$. Однако с учетом эффекта "насыщения" имеет место более реалистичная модель динамики ТР в виде логистического уравнения (т.е. уравнения Ферхюльста) [114]:

$$\dot{L}(t) = n_0 L(t) \left(1 - \frac{L(t)}{L_{\max}} \right),$$

где L_{\max} — максимально допустимое количество ТР (предельно допустимое количество работающих в данной системе).

Следовательно, будем иметь следующую модель функционирования и развития ПЭС:

$$\begin{cases} Y(t) = F[K(t), L(t)], & C(t) = (1 - \alpha)Y(t), \\ \dot{K}(t) = \alpha(t)Y(t), & K(t_0) = K_0 - \text{начальный объем основных фондов} \\ \dot{L}(t) = n_0 L(1 - L/L_{\max}), & L(t_0) = L_0 - \text{начальное количество ТР} \end{cases} \quad (2.17)$$

Для удобства анализа системы перейдем к относительным (удельным) величинам: $k = K/L$ — фондовооруженность; $c = C/L$ — потребление на одного трудящегося; $y = Y/L$ — производительность труда.

Тогда систему уравнений (2.17) можно переписать в следующей форме:

$$\begin{cases} y(t) = f(k) \equiv F(k, 1), \\ \begin{cases} c(t) = (1 - \alpha)y(t) = (1 - \alpha)f(k), \\ \dot{k}(t) = \alpha f(k) - n_0 \cdot k \cdot (1 - \eta), \quad \eta = L/L_{\max}, \quad 0 < \eta < 1. \\ k(t_0) = k_0. \end{cases} \end{cases}$$

Таким образом, имеем нелинейную динамическую модель:

$$\begin{cases} \dot{k}(t) = \alpha f(k) - n_0(1 - \eta(t))k(t), & k(t_0) = k_0, \\ c(t) = (1 - \alpha)f(k), \\ \dot{\eta}(t) = n_0\eta(t)(1 - \eta(t)), & \eta(t) \equiv L(t) / L_{\max}, \\ \eta(t_0) = L_0 / L_{\max}. \end{cases} \quad (2.18)$$

Стационарные (равновесные) точки системы можно найти из уравнений:

$$\begin{cases} \alpha f(k) - n_0(1 - \eta)k = 0, \\ n_0\eta(1 - \eta) = 0. \end{cases}$$

Положим теперь, что $K_{t+1} = K_t + I_t - \mu K_t$.

Учитывая обозначения $y = Y/L$; $i = I/L$; $c = C/L$; $k = K/L$ и выполняя предельный переход, будем иметь модель динамики основных фондов в виде:

$$\dot{k} = i(t) - \left(\mu + \frac{\dot{L}}{L} \right) k.$$

Так как

$$\dot{L} = n_0 L \left(1 - \frac{L}{L_{\max}} \right), \text{ то } \dot{L}/L = n_0 \left(1 - \frac{L}{L_{\max}} \right) \equiv n_0(1 - \eta(t)),$$

$$\text{то } \begin{cases} \dot{k} = i(t) - [\mu + n_0(1 - \eta(t))]k \\ \dot{\eta} = n_0\eta(1 - \eta), \\ y = c + i; \quad i = f(k) - c \end{cases} \text{ ИЛИ}$$

$$\begin{cases} \dot{k} = f(k) - c - [\mu + n_0(1 - \eta(t))]k, & k(t_0) = k_0 \\ \dot{\eta} = n_0\eta(1 - \eta), & \eta(t_0) = L_0 / L_{\max}, \quad 0 < \eta(t) < 1. \end{cases}$$

Заметим, что $f(k) = c + [\mu + n_0(1 - \eta)]k + \dot{k}$. Параметр n_0 является параметром хаотичности на рынке труда.

Отметим также, что в модели Солоу (Рамсея) важно было также учесть и случайные (экзо- и эндогенного характера) факторы влияния нестабильной ВС на ПЭС (как это показано выше).

Эколого-экономическая нелинейная стохастическая макро модель динамики ПЭС. Производственная функция эколого-экономической системы (ПФЭЭС): $YZ(t) = F[K(t), L(t), N(t)]$ где L — количество рабочей силы (затраты труда); N — уровень НТП (информационные и инновационные технологии, интеллектуализация процессов управления и т.п.); Z — уровень экологического ущерба (загрязнения ОС) при производстве продукта $Y(t)$. Заметим, что если общий объем информационного ресурса $N(t)$ (как и сами источники возможных идей данной области исследований) имеет верхний предел N_{\max} , т.е.

$0 \leq N(t) \leq N_{\max}$, то динамическая модель роста информационного является логистическим уравнением вида:

$$\frac{dN}{dt} = \alpha N \left(1 - \frac{N(t)}{N_{\max}} \right), \quad N(t_0) = N_0 - \text{const.}$$

Введем также следующие обозначения для основных макроэкономических показателей. Переменные: $X(t)$ — валовый общественный продукт; ВОП — выход макроэкономической системы; $Y(t)$ — национальный доход (доход); $C(t)$ — накопление/потребление (для развития и инвестирования); $S(t)$ — функция предложения (потребления); $D(t)$ — функция платежеспособного спроса; $M(t)$ — общий объем денежной массы в обращении в момент времени t ; $p(t)$ — средний уровень изменяющихся (нестабильных) цен в данный момент t . Параметры: a — материалоемкость валового продукта (коэффициент прямых затрат — доля промежуточного продукта в ВП), причем $0 < a < 1$; b — коэффициент эффективности капитальных вложений (т.е. $1/b$ — фондоемкость), причем $b \geq 1$ или $0 \leq 1/b \leq 1$; w — доля накопления в национальном доходе, причем $0 \leq w \leq 1$; α — параметр настройки уровня цен, причем $0 \leq \alpha \leq 1$; γ — доля выплат населению (коэффициент пропорциональности), причем $0 \leq \gamma \leq 1$. Пусть для простоты $L(t) = L_0 \exp(\nu t)$, т.е. $dL/dt = \nu L(t)$. Тогда имеем следующую обобщенную экономико-математическую модель [148]:

$$\begin{cases} \dot{D} = \alpha_1 S - \alpha(D(D-S)) / p - \min(D, S), \\ \dot{S} = \alpha_2 S, \\ \dot{p} = \alpha(D-S), \end{cases} \quad (2.19)$$

где $D \geq 0, S \geq 0, p \geq 0, D(0) = D_0, S(0) = S_0, p(0) = p_0, 0 \leq t \leq T, 0 \leq a, w, \alpha, \gamma \leq 1, b \geq 1, \alpha_1 = \gamma/(1-w), \alpha_2 = wb(1-a)$.

Заметим также, что $D(t) = M(t)/p(t), V(t) = \gamma\{p(t)Y(t)\}$ — объем выплат населению, $Z(t) = p(t) \min\{D(t), S(t)\}$ — объем затрат на приобретение товаров,

$$Y(t) = S(t) + C(t); Y(t) = (1-a)X(t); C(t) = wY(t); dX/dt = bC(t).$$

Итак, задача оптимального управления экономической системой можно сформулировать теперь следующим образом.

Пусть $u(t) = Q(t)$ — текущий объем производства (управляющая переменная), причем $0 \leq u(t) \leq u_{\max}, p(t)$ — фазовая переменная.

В качестве критерия оптимальности можно брать следующий функционал:

$$J[p, u] = \int_0^T \exp(-\nu t) \{ p(t) \min[D(t), u(t)] \} dt \rightarrow \max_{0 \leq u \leq u_{\max}}. \quad (2.20)$$

В условиях нестабильных (случайных) цен $p(t)$ данный критерий следует уточнить, т.е. необходимо рассматривать усредненное значение $J[p, u]$, т.е.:

$$\bar{J}[p, u] = \int_0^T \exp(-vt) M\{p(t)\} \min[D(t), u(t)] dt \rightarrow \max_{0 \leq u \leq u_{\max}}. \quad (2.21)$$

Заметим, что подинтегральная функция является негладкой, что создает ряд трудностей для аналитической оптимизации.

Уравнение динамики цен на рынке, т.е. уравнение состояния системы имеет вид:

$$\frac{dp}{dt} = \alpha[D(t) - u(t)], \quad p(0) = p_0 > 0, \quad p(t) > 0, \quad 0 \leq \alpha \leq 1. \quad (2.22)$$

В связи с возрастанием остроты проблемы охраны ОС в условиях нестабильной экономики важны вопросы построения оптимального управления производственной системой. Для этого, в частности, можно основываться на теории производственных функций [95, 147].

Пусть задана функция полезности (ФП) $u(c, z)$, где c – объем потребления, z – переменная, характеризующая объем загрязнения. При этом:

$$\frac{\partial u}{\partial c} > 0, \quad \frac{\partial u}{\partial z} < 0, \quad \frac{\partial^2 u}{\partial c^2} < 0, \quad \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} < 0, \quad \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\partial u}{\partial c} = \infty.$$

Теперь в качестве критерия оптимальности принимается интеграл от ФП вдоль конкретных траекторий $c(t)$ и $z(t)$ с учетом дисконтирования:

$$W(c, z) = \int_{t_0}^T u(c, z) \exp(-vt) dt \rightarrow \max_{c, z}. \quad (2.23)$$

ПФ рассмотрим в традиционной форме, т.е. $Y(t) = F(K, L)$.

Предположим, что основной капитал амортизируется с постоянным темпом $\mu > 0$ и объем загрязнения прямо пропорционален объему продукта (выпуска) производства и составляет от него долю ε , $0 < \varepsilon < 1$, т. е. загрязнение z измеряется в тех же единицах, что и основная продукция Y . [9].

Известно, что окружающая природная среда обладает определенной способностью ассимилировать отходы производства. Будем считать, что естественная убыль отходов в каждый момент времени составляет долю γ от их общего количества. Необходимо выделить часть производственного продукта на борьбу с загрязнением. При этом затрата одной единицы продукции уменьшает загрязнение на δ единиц ($\delta > 1$).

Таким образом, задача эколого-экономического управления состоит в определении долей α и β выпуска, предназначенных на потребление и борьбу с загрязнением соответственно: $c = \alpha Y$, $z = \beta Y$, $0 \leq \alpha, \beta \leq 1$.

Итак, имеем следующую модель ЭЭС:

$$\begin{cases} Y(t) = F(K, L), \\ \dot{K} = (1 - \alpha - \beta)F(K, L) - \mu K, \\ \dot{Z} = (\varepsilon - \delta\beta)F(K, L) - \gamma Z, \\ L(t) = L_0 - \text{константа}, \\ 0 \leq \alpha(t), \quad \beta(t) \leq 1, \quad \alpha(t) + \beta(t) \leq 1. \end{cases} \quad (2.24)$$

Задачу (2.23) и (2.24) относительно определения оптимальных управлений $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ можно решить, используя, например, принцип максимума Понтрягина [146].

Представлена интегральная нелинейная стохастическая эколого-экономическая модель управления предприятием, которая наиболее применима для задач принятия производственных решений в условиях нестабильной внешней среды. Далее важно провести компьютерное исследование полученных моделей с учетом параметров хаотичности.

2.4. Моделирование влияния новых (инновационных) технологий на производственно-экономическую систему

Введение. Эффективность функционирования, роста и развития ПЭС во многом зависит от уровня и интенсивности применения современных новых технологий (НТ) (информационных, инновационных, наукоемких, конкурентоспособных, инвестиционных и т.п.). Хотя в ряде научных работ исследуются вопросы моделирования развития сложных экономических систем, рассматриваемой проблеме уделено незаслуженно недостаточное внимание [149, 150]. В простейшем случае влияние НТ на развитие ПЭС можно выразить, введя явную зависимость производственной функции (ПФ) от времени, т.е. $Y(t) = F[x(t), t]$, где $x(t)$ — вектор ресурсов. Это выражение учитывает фактический тренд ПФ. Такое влияние НТ на ПЭС можно назвать экзогенным. Заметим, что влияние НТ на функционирование ПЭС — важнейший, но не единственный фактор роста и развития.

Однако в последнее время при построении моделей социально-экономических и экологических систем широко используется хорошо известная в биоэкологии классификация взаимоотношений между подсистемами. "Хищничество": одна подсистема ("хищник") сдерживает развитие другой ("жертвы"), а другая подсистема ("жертва") ускоряет развитие первой подсистемы ("хищника"). *Конкуренция*: каждая из подсистем имеет негативное влияние на развитие другой подсистемы, хотя существует и внутрисистемная борьба за существование. *Симбиоз или коменсализм*: каждая из подсистем ускоряет рост (развитие) другой или одна подсистема получает выгоду, не делая другой подсистеме вреда, но и не принося пользы.

Итак, пусть имеется две подсистемы с общим объемом выхода N_1 и N_2 , соответственно, которые взаимодействуют друг с другом. Развитие (размножение) каждой из этих подсистем будем описывать логистическим уравнением, а их взаимодействие опишем членом, пропорциональным произведению $N_1 N_2$. Тогда в случае взаимодействия типа "хищничества" динамика развития подсистем опишется следующей системой дифференциальных уравнений [41, 152]:

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 - \left(\frac{r_1}{K_1} \right) N_1^2 + \gamma_1 N_1 N_2,$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 - \left(\frac{r_2}{K_2} \right) N_2^2 - \gamma_2 N_1 N_2.$$

В случае взаимодействия типа "конкуренция" динамика развития подсистем опишется системой уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= r_1 N_1 - \left(\frac{r_1}{K_1} \right) N_1^2 - \gamma_1 N_1 N_2, \\ \frac{dN_2}{dt} &= r_2 N_2 - \left(\frac{r_2}{K_2} \right) N_2^2 - \gamma_2 N_1 N_2. \end{aligned}$$

Наконец, при взаимодействии типа "симбиоз" динамика развития подсистем опишется следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= r_1 N_1 - \left(\frac{r_1}{K_1} \right) N_1^2 + \gamma_1 N_1 N_2, \\ \frac{dN_2}{dt} &= r_2 N_2 - \left(\frac{r_2}{K_2} \right) N_2^2 + \gamma_2 N_1 N_2. \end{aligned}$$

Итак, общая математическая модель динамики экономической и/или экологической системы, состоящей из множества взаимодействующих подсистем, может быть представлена как систему нелинейных дифференциальных уравнений (без учета пространственных параметров) с учетом эффектов «насыщения» и «синергии» в следующей форме [41,151,152]:

$$\dot{x}_i(t) = x_i(t) [\beta_i - \gamma_i x_i(t)] \pm \sum_{j=1, j \neq i}^n \alpha_{ji} x_j(t) x_i(t), \quad i = 1, \dots, n, \quad (2.25)$$

где коэффициенты α_{ji} , β_i , γ_i имеют реальный физический (экономический) смысл, т.е. β_i является предельным значением переменной x_i ,

коэффициент γ_i характеризует уровень внутренней (внутривидовой) конкуренции в подсистеме (популяции),

α_{ji} – межподсистемную (межвидовую) конкуренцию.

Отметим, что такими моделями можно описать различные развивающиеся системы независимо от их природы.

Уравнение (2.25) в общем виде можно переписать как систему уравнений:

$$\dot{x}_i(t) = f(x_1(t), \dots, x_n(t); \vec{a}, t), \quad i = 1, \dots, n, \quad (2.26)$$

где \vec{a} — вектор всех параметров. Уравнения (2.26) носят название эволюционных уравнений.

Динамическая модель влияния новых технологий на ПЭС. Предположим, что $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$ – вектор входных ресурсов, перерабатываемых ПЭС (материалы, финансы, трудовые ресурсы, энергия, информация и т.п.) в момент времени t ; $y(t)$ – выпуск ПЭС, выраженной в денежных или натуральных единицах, в тот же момент времени. Для простоты и наглядности рассмотрим однопродуктовую модель, что, однако, не нарушает общности анализа, который может быть аналогично проведен и для многопродуктовой модели, когда $y(t)$ – вектор.

Представим механизм воздействия новых технологий (НТ) на ПЭС при учете стохастических воздействий внешнеэкономической среды в виде функционально-динамической структуры (рис.2.2).

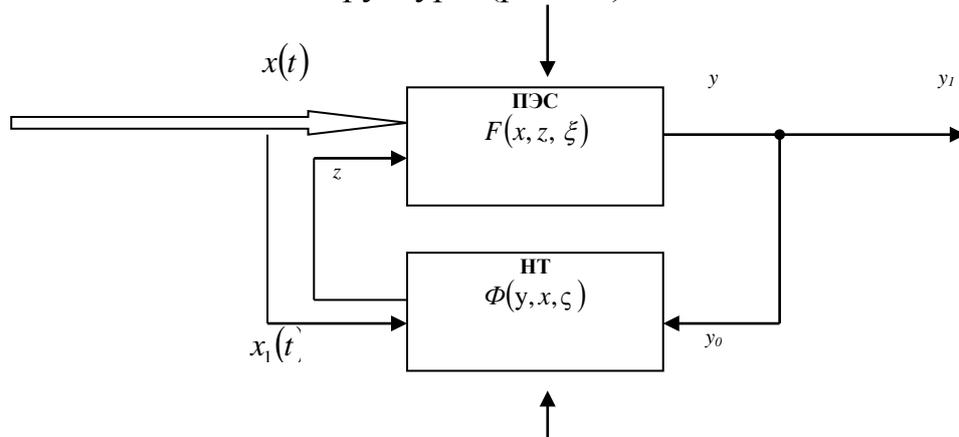


Рис. 2.2. Структура модели влияния НТ на ПЭС.

Здесь F – оператор ПЭС (производственная функция) и уравнение, описывающее процесс функционирования системы имеет вид (2.16). Φ — оператор (описание) НТ: $z = \Phi(y, x, \zeta)$ — механизм управления ростом и развитием ПЭС, который использует часть входных ресурсов $x(t)$ и выпуска $y(t)$ для своей организации и функционирования.

Предположим, что воздействие НТ на ПЭС оценивается с помощью обобщенного технико-экономического показателя (ОТЭП) $z(t)$, связанного с относительными темпами роста традиционных показателей экономического анализа (производительность труда, фондоотдача, энергоёмкость, наукоёмкость и т.д.):

$$z(t) = \sum_{i=1}^n a_i \frac{\dot{W}_i(t)}{W_i(t)}, \quad (2.28)$$

где a_i – весовые коэффициенты (обычно задаются экспертами), определяющие значимость различных первичных показателей НТ, причем $\sum a_i = 1$ и $a_i > 0$; $W_i(t) = Y(t)/x_i(t)$, $\dot{W}_i(t) = dW_i/dt$.

Функционально-динамическая модель, отражающая воздействие НТ на ПЭС с учетом прямых и обратных связей, может быть аналитически описана в виде (для простоты положим, что $\xi(t) = 0, \zeta(t) = 0$):

$$\begin{cases} y(t) = F(x(t), z(t)), & (2.29) \end{cases}$$

$$\begin{cases} z(t) = \Phi(x(t), y(t)), & (2.30) \end{cases}$$

$$\begin{cases} F(x, 0) \equiv F_0(x). & (2.31) \end{cases}$$

Разложим ПФ $F(x, y)$ в ряд Тейлора в окрестности точки $z(t) = 0$:

$$y(t) = F(x) + \sum_{k=1}^{\infty} C_k(t) z^k(t), \quad C_k(t) = \frac{1}{k!} \frac{\partial^k}{\partial z^k} F(x, z) \Big|_{z=0}. \quad (2.29)$$

Учитывая то, что относительные темпы прироста выпуска ПЭС за счет воздействия только НТ значительно меньше естественных относительных

темпов прироста, вызванных приростом ресурсов, в разложении (2.29) можно с высокой для практических целей точностью ограничиться лишь линейным рядом Тейлора. Имеем следующее дифференциальное уравнение развития:

$$y'(t) = \alpha_1(t)y(t) + \beta_1(t)y^2(t),$$

где

$$\alpha_i(t) = \sum_{i=1}^n a_i \frac{x'_i(t)}{x_i(t)} - \frac{F(x(t))}{C_i(t)}; \beta_i(t) = 1/C_i(t). \quad (2.30)$$

Эта функционально-динамическая модель легко обобщается на случай сложной многомерной (многопродуктовой) производственно-экономической структуры.

Из (2.30) следует, что выход ПЭС есть отображение логистического типа с нестационарными параметрами, т.к. $y'(t) = y(t)[\alpha(t) + \beta(t)y(t)]$ или $y_{n+1} = \alpha_n \beta_n [1 + \tilde{\beta}_n y_n]$, $\tilde{\beta}_n = \beta_n / \alpha_n$.

Оператор Φ описывает влияние НТ и автоматизированной системы принятия экономических решений (АСПЭР) в функционировании и развитии ПС.

Синергетическая модель развития ПЭС в условиях конкурентной стратегии. Динамическую модель развития сложной (многомерной) ПЭС S , состоящей из n подсистем S_1, \dots, S_n , с некоторой точностью мы представили в виде системы дифференциальных уравнений (1.12). В модели (1.12) коэффициенты γ_{ij} определяют степень взаимодействия между подсистемами S_i и S_j , а коэффициенты β_i указывают на уровень насыщения переменной X_i , т.е. ее предельное значение. Заметим, что уравнения (2.31) можно представить также в виде логистических уравнений с «взаимодействием», т.е. например,

$$dX/dt = X_i(\alpha_i + \gamma_{i2}X_1 + \dots + \gamma_{in}X_n + \beta_i X_i)$$

или

$$dX/dt = \alpha_i X_i (1 - c_{i2}X_1 - \dots - c_{in}X_n - b_i X_i),$$

где $a_i = \alpha_i$, $c_{ij} = -\gamma_{ij}/\alpha_i$, $b_i = -\beta_i/\alpha_i$.

В двумерном случае система (2.31) состоит из 2-х подсистем, т.е.:

$$\begin{cases} dX_1/dt = \alpha_1 X_1 + \beta_{12} X_1 X_2 + \gamma_1 X_1^2, \\ dX_2/dt = \alpha_2 X_2 + \beta_{21} X_1 X_2 + \gamma_2 X_2^2, \end{cases} \quad (2.32)$$

Для исследования процессов самоорганизации, возникающих в системе (2.32), применим принципы подчинения и построения аттракторов. Принцип подчинения будет справедлив лишь в том случае, если переменные (векторы) $X_1(t)$ и $X_2(t)$ обладают временной иерархией, т.е. их постоянные времени значительно отличаются друг от друга. Пусть, например, $X_2(t)$ – медленная переменная, а $X_1(t)$ – быстрая переменная. Это означает, что отношение приращений $\Delta X_1(t)$, $\Delta X_2(t)$ за короткий интервал времени Δt намного меньше единицы, т.е. $\Delta X_2/\Delta X_1 \ll 1$ или $\Delta X_2 \ll \Delta X_1$.

Следовательно, первое уравнение в (2.32) можно представить в виде:

$$dX_1/dt = \alpha_1 \left(X_1 + \beta_{12}/\alpha_1 X_1 X_2 + \gamma_1/\alpha_1 X_1^2 \right)$$

где α_1 - здесь достаточно большая величина, превышающая на порядок второй сомножитель, который в свою очередь теперь имеет один порядок с правой частью второго уравнения системы (2.32), т.е. $\alpha_1 \geq 1$ или $(\varepsilon=1/\alpha_1 \leq 1)$.

Таким образом, система (2.32) теперь может быть записана в виде:

$$\begin{cases} \varepsilon d X_1 / dt = X_1 + \beta_{12} / \alpha_1 X_1 X_2 + (\gamma_1 / \alpha_1) X_1^2, \\ d X_2 / dt = \alpha_2 X_2 + \beta_{21} X_1 X_2 + \gamma_2 X_2^2. \end{cases} \quad (2.33)$$

При $\varepsilon \rightarrow 0$ система (2.33) переходит в вырожденную (сингулярную) систему уравнений вида:

$$\begin{aligned} X_1 + (\beta_{12}/\alpha_1) X_1 X_2 + (\gamma_1/\alpha_1) X_1^2 &= 0, \\ dX_2/dt &= \alpha_2 X_2 + \beta_{21} X_1 X_2 + \gamma_2 X_2^2. \end{aligned} \quad (2.34)$$

Дифференциальное уравнение в (13) отображает динамику изменения медленной переменной, а алгебраическое уравнение – быстрой переменной.

Из первого уравнения (2.34) будем иметь: $X_2 = -\alpha_1/\beta_{12} - \alpha_1\gamma_1/\beta_{12}X_1$

Фазовое пространство, в котором лежат переменные, описывающие сложную систему, очень велико, и принять во внимание все переменные невозможно. Но есть области в фазовом пространстве, где для того чтобы понимать и предсказывать происходящее, достаточно несколько параметров (фазовых переменных), т.е. иногда существуют проекции на подпространство меньшего числа переменных, которые адекватно отражают происходящее во всем пространстве переменных. Эти подпространства называют руслами. Размерность русла (т.е. размерность этого пространства) обычно невелика. Психологи, например, говорят о семи переменных, однако вообразить себе нетривиальный четырехмерный объект – это уже непросто. И если поэтому у нас для описания системы имеется подходящее русло, то тут можно строить достаточно простые и эффективные модели и находить эффективные поведенческие стратегии. Там, где дело касается русел, сложные системы удастся описывать просто. Но в реальности все устроено более сложно. Русло кончается (а определить когда это происходит – отдельная важная задача), и число переменных быстро растет, горизонт прогноза уменьшается и появляется возможность резких изменений.

Такие области в фазовом пространстве называют областями джокеров, а поведение системы – джокерами [12,13]. Джокер может быть связан с точкой бифуркации, когда малые флуктуации, случайный шум могут определить ход процесса. Поэтому важно исследование экономических систем с джокерами, т.к. для социально-экономических систем принципиальна возможность прогнозирования скачков в процессе эволюции.

Заметим, что в области русла можно опираться на простые детерминированные модели, на несложные закономерности. Совершенно иначе приходится описывать сложную систему с джокером, т.е. в области джокера. В этом случае огромное значение имеет учет случайности, игровые моменты, становится необходимым вероятностное описание. Выбор в таких случаях

сложен, потому что приходится принимать в расчет слишком многое, что оставляет простор для субъективных факторов (такие, плохо поддающиеся формализации сущности, как мораль, убеждения, нравственность, предшествующий опыт). В отличие от моделей точных наук, здесь многие величины могут меняться скачком. Это уровень доверия, ожидания, связываемые с будущим.

Итак, для исследования социальных и экономических процессов и систем и для управления ими важно уметь выделять небольшое число параметров, определяющих их ход, и выявлять взаимосвязи между ними, т.е. необходимо решить задачу системного синтеза системы [39, 53, 55].

Стохастический вариант модели влияния ИТ на развитие ПЭС. Модели социального и эколого-экономического управления (ЭЭУ), учитывающие влияние стохастических воздействий, должна отражать степень, с которой эти экзогенные силы могут повлиять на конечные результаты моделирования. Если результаты моделирования решающим образом зависят от экзогенных стохастических воздействий и в малой степени испытывают влияние взаимодействия экономических переменных, модель не представляет интереса. С другой стороны, если учет стохастических эффектов оказывает малозаметное влияние на качественные результаты, то стохастические факторы могут быть полностью исключены из анализа. Однако флуктуации могут играть решающую роль в развитии экономики, даже если развитие определяется детерминированными механизмами. Влиянием флуктуаций на детерминированное развитие нельзя пренебречь в случае, если детерминированные уравнения рассматриваются вблизи критических точек.

Как указано выше функционирование и развитие ПЭС во времени в условиях нестабильной внешней среды и конкуренции зависит от причин, прогнозировать которые с абсолютной точностью не представляется возможным. Такие причины обычно описываются как флуктуирующие (стохастические) воздействия (шумы). Таким образом, обобщенную динамическую нелинейную модель можно представить в виде мультипликативно-аддитивной стохастической модели с распределенными переменными и с хаотическим поведением, т.е.:

$$\dot{x}_i = \left[\xi_i(t)x_i \left(1 - \sum_{j=1}^n a_{ij}(t)x_j \right) + \sum_{l=1}^3 d_{il} \frac{\partial^2 x_i}{\partial r_l^2} + w_i \right] + u_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (2.35)$$

где $x_i = x_i(r, t)$ — координаты вектора состояния, $i = 1, 2, \dots, n$; $r = (r_1, r_2, r_3)$ — вектор пространственного распределения; $\xi_i(t)$ и $w_i(t)$ — стохастическое возмущающее воздействие с заданными вероятностными характеристиками, причем $\xi_i(t)$ может играть роль "малого" мультипликативного управляющего воздействия для контроля хаотического поведения системы; $a_{ij}(t)$ — экзогенные переменные (параметры), определяющие нестационарное воздействие внешней среды на данную систему; d_{il} — коэффициенты диффузии; u_i — внешние управляющие воздействия, причем $u_i \in U_i$ — область допустимых управлений.

Дискретную модель эволюции экономической системы, соответствующую (2.35), можно представить как следующий итерационный процесс:

$$x_i(k+1) = \left[\xi_i(k)x_i(k) \left(1 - \sum_{j=1}^n a_{ij}(k)x_j(k) \right) + \sum_{l=1}^3 d_{il} \frac{\partial^2 x_i(k)}{\partial r_l^2} + w_i(k) \right] + u_i(k),$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, \quad i = 1, \dots, n. \quad (2.36)$$

В случае двух конкурирующих экономических структур (фирм) систему уравнений (2.36) (без учета пространственного распределения переменных состояния) можно записывать как:

$$x_1(k+1) = \left[\xi_1(k)x_1(k) \left(1 - \sum_{j=1}^2 a_{ij}(k)x_j(k) \right) + w_1(k) \right] + u_1(k),$$

$$x_2(k+1) = \left[\xi_2(k)x_2(k) \left(1 - \sum_{j=1}^2 a_{ij}(k)x_j(k) \right) + w_2(k) \right] + u_2(k), \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

Теперь необходимо выполнить компьютерное моделирование и анализ данной модели, которая охватывает множество важных и разнообразных сложных процессов и систем при заданных исходных параметрах и условиях: начальные состояния функционирования ПЭС, соответственно, $\bar{x}_{10}, \bar{x}_{20}$ — усредненные значения; динамика нестационарности внешней среды, т.е. $a_{ij}(k+1) = a_{ij}(k) + \Delta a_{ij}(k)$, в частности, $\Delta a_{ij}(k) = 0$ и заданных вероятностных характеристик стохастических возмущающих воздействий $\xi_i(t), w_i(t)$.

Нелинейная динамическая модель конкуренции. Рассмотрим теперь ситуацию, когда элементы (фирмы) $\{x_i\}$ и $\{y_j\}$ двух различных систем (например, отраслей) S_1 и S_2 взаимодействуют и сосуществуют на основе одного и того же количества ресурсов (например, на одном и том же рынке (сегменте рынка)), которые имеют ограниченные объемы. При этом чем больше элементов у первой системы, тем больше ресурсов они употребляют и, следовательно, тем меньше ресурсов остается для элементов другой системы.

Пусть число элементов системы S_1 есть x , а для S_2 — y . Тогда динамика изменения величин x и y , т.е. число элементов систем X и Y , соответственно, можно представить в виде системы уравнений:

$$\dot{x} = x(\alpha_1 - \beta_1 x - \gamma_1 y), \quad \dot{y} = y(\alpha_2 - \beta_2 y - \gamma_2 x), \quad (2.37)$$

где α_k, β_k и γ_k — предельное значение объема ресурсов для k -ой системы ($k=1,2$), коэффициент, описывающий конкуренцию внутри k -ой системы, и коэффициент, описывающий конкуренцию между элементами систем S_1 и S_2 соответственно.

Заметим, что в модели (2.37) одновременно учтены два свойства: принцип насыщения и влияние взаимодействия, т.е. коллективное поведение.

В случае двух фирм величина x может быть выходом (выпуском, прибылью) первой фирмы, а y — выходом второй фирмы, причем обе эти фирмы используют в своей деятельности один и тот же ограниченный объем ресурсов.

В систему уравнений (2.37) входят шесть управляющих параметров $\{\alpha_k, \beta_k, \gamma_k, k=1,2\}$. В зависимости от значений этих параметров динамика системы в целом $S = S_1 \cup S_2$ может быть различна, а следовательно, нам необходимо провести анализ того, как зависит поведение системы от выбранных значений параметров. Но большое число параметров существенно затрудняет решение задачи, поэтому важно сократить их количество. Для этого воспользуемся перенормировкой и введем в рассмотрение новые переменные и время, т.е. обозначения: $X = (\beta_1/\alpha_1)x$, $Y = (\beta_2/\alpha_2)y$ и $\tau = \alpha_1 t$ или $\tau = \alpha_2 t$. Тогда система уравнений (2.40) примет следующий вид:

$$dX/d\tau = X(1 - X - a_2 Y), \quad dY/d\tau = \mu(1 - Y - a_1 X) \quad (2.38)$$

где $\mu = \alpha_2/\alpha_1$, $a_1 = \alpha_1 \gamma_2 / (\alpha_2 \beta_1)$ и $a_2 = \alpha_2 \gamma_1 / (\alpha_1 \beta_2)$ – новые параметры, составленные из параметров входящих в систему уравнений (2.38). Тут на свойства системы S существенное влияние оказывают только два параметра — a_1 и a_2 , т.к. параметр μ не влияет на качество системы.

С точки зрения синергетической экономики, эволюционной экономической системы, которая всегда была бы устойчива, не существует. Она всегда подвержена трансформирующим воздействиям внешних и внутренних сил. Когда система проходит некоторые критические значения внешних параметров, в ней могут возникнуть внезапные непрогнозируемые структурные изменения и хаос. Для предотвращения подобных процессов в конкурентную систему нужно ввести некий стабилизатор. Такое стабилизирующее воздействие может обеспечить грамотное правительство. К примеру, социальные проблемы могут быть разрешены именно благодаря определенной деятельности правительства. Поэтому важна концепция перехода к социально ориентированной рыночной экономике, которая была бы одновременно и эффективной, и устойчивой. Пока нет такой экономической теории, которая доказала бы, что эффективности и устойчивости можно достичь одновременно. А если не гарантирована эффективность, устойчивость надолго теряет всякий смысл.

Таким образом, в данном пункте предложены различные нелинейные модели динамики влияния современных информационных, инновационных технологий и других внешних факторов (конкурентов) на развитие производственно-экономических систем, функционирующих в условиях конкуренции и нестабильной внешней среды. Предложена также нелинейная стохастическая мультипликативно-аддитивная модель системы с хаотическим поведением.

2.5. Динамическое моделирование и управление рисками в условиях смешанной информации

Во многих задачах финансово-экономической сферы, в частности, в задачах маркетинга, менеджмента, финансово-банковских операций, инвестиций в различные проекты и др. возникает необходимость принятия

решений (ПР). Проблема ПР осложняется тем, что ее приходится решать в условиях неопределенности (УН). Неопределенность может носить различный характер. Неопределенными могут быть осознанные действия противоборствующих стороны, направленные на уменьшение эффективности принимаемых противником решений. Например, конкурирующие на одном рынке фирмы осуществляют действия, приводящие к реализации своих интересов и препятствующие в этом конкурентам. Неопределенность может относиться к ситуации риска, в которой сторона, принимающая решение, в состоянии установить не только все возможные результаты всех решений, но и вероятности их появления. В ситуации, когда известны все последствия всевозможных решений, но неизвестны их вероятности, т.е. неизвестны вероятности возможных состояний окружающей среды, решения приходится принимать в условиях полной неопределенности. Наконец, неопределенностью может обладать цель решаемой задачи, когда показатель эффективности решения характеризуется единственным числом и не всегда отражает достаточно полную картину. При выборе решения в УН всегда присутствует фактор действия наудачу без обоснованной уверенности в успехе, т.е. выбор решения в УН всегда сопряжен с риском. Он неизбежно присутствует в различных хозяйственных операциях (коммерческий риск), в выполнении предприятием определенного заказа (производственный риск), в выполнении фирмой финансовых обязательств перед инвестором (кредитный риск), в решении купить акции или др. ценные бумаги, т.е. в формировании инвестиционно-финансового портфеля (инвестиционный риск), в решениях поместить деньги в банк (финансовый риск) и др. [153, 154].

Постановка задачи. Для ПР в условиях стохастической неопределенности, т.е. при случайности исходной информации, критерий оптимальности можно определить следующим образом. Пусть требуется отыскать такую совокупность параметров, которая доставляет экстремум (минимум или максимум) некоторой целевой функции. Если через x обозначить совокупность (вектор) искомым параметров, например, вектор ресурсов или факторов производства, через X — допустимое множество (рынок) этих параметров (ресурсов), а через $f(x)$ — целевую функцию (например, производственная функция или функция дохода, прибыли, затрат, полезности и т. п.), подлежащую минимизации (или максимизации), то задача поиска оптимального решения x^* может быть представлена в следующем виде:

$$x^* = \arg \min f(x) \quad (2.39)$$

при $x \in X$.

Пусть, в частности, критерий эффективности (оптимальности) определяется функцией полезности (ФП) $U(x, \xi)$, где x — вектор состояния системы, а ξ — вектор состояния внешней среды (ВС), $x \in D$ — множество допустимых решений (состояний). Если наблюдение над состоянием ξ ВС выполнено до момента ПР, то решение должно быть выбрано в зависимости от ξ и наилучшим решением для данного ξ является решение следующей задачи [155, 156]:

$$U(x, \xi) \rightarrow \max, \quad x \in D. \quad (2.40)$$

Решением задачи является $x^*(\xi) = \text{Arg max } U(x, \xi)$ при заданном ξ .

Если решение принимается до наблюдения над состоянием ВС (т.е. условие полной неопределенности), то оно может быть лишь детерминированным и, следовательно, не может быть решением задачи (2.40) при каждом значении ξ . В этом случае применяют известные детерминированные критерии выбора: Вальда, Сэвиджа, Гурвица, Лапласа и т.п.

Если ξ принимает конечное множество значений $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m$ с вероятностями p_1, p_2, \dots, p_m , то искомое решение необходимо найти как решение задачи:

$$F(x) = \sum_{k=1}^m p_k U(x, \xi_k) \rightarrow \max, \quad x \in D. \quad (2.41)$$

Или, в общем случае, $F(x) = M_{\xi} \{U(x, \xi) \rightarrow \max, \quad x \in D\}$, т.е. максимизирует ожидаемое значение эффективности решения.

Конечно, возможны и другие критерии выбора решения. Например, можно максимизировать вероятность превышения некоторого заданного уровня эффекта, т.е. $F(x) = P\{U(x, \xi) \geq u_0\} \rightarrow \max, \quad x \in D$, или минимизация ситуации «банкротства» в виде: $F(x) = 1 - P\{U(x, \xi) \geq u_0\} \rightarrow \min, \quad x \in D$.

Например, задачу оптимизации инвестиционного проектирования в дискретном случае можно представить в следующих трех вариантах [11]:

- $m_0 \rightarrow \max_{\{x_i\}}, \quad \sigma_0^2 \rightarrow \min_{\{x_i\}}, \quad \sum x_i = 1, \quad x_i \geq 0;$
- $m_0 \rightarrow \max, \quad \sigma_0^2 \leq \sigma_*^2, \quad \sum x_i = 1, \quad x_i \geq 0;$
- $m_0 \geq m_0^*, \quad \sigma_0^2 \rightarrow \min, \quad \sum x_i = 1, \quad x_i \geq 0.$

Решение этих задач осуществляются методом множителей Лагранжа или его модифицированным вариантом [151].

Динамические модели в рискологии. Производственно-экономические системы (ПЭС) относятся к сложным нелинейным динамическим, развивающимся, самоорганизующимся и открытым системам, для которых характерны, с одной стороны, структурная устойчивость, а с другой — ее потеря, разрушение одной структуры и появление другой устойчивой структуры. Причем процесс развития ПЭС можно представить как цепь циклов эволюционного изменения состояния внутри цикла со скачкообразным переходом в новое состояние в конце цикла. Очевидно, что проблема моделирования, прогнозирования и контроля скачкообразных процессов, основными из которых являются бифуркационные процессы и катастрофы (кризисные аттракторы), является актуальной.

Модели процессов ПЭС в экстремальных условиях и, в частности, в условиях переходной экономики, представляют собой нелинейные (или билинейные) многомерные динамические уравнения, зависящие от вектора наблюдаемых, контролируемых (управляемых) и неопределенных (в том числе

стохастических и размытых) параметров $d_i, i=1,2$: $\frac{dx}{dt} = f(x, d_1, d_2, \xi)$ или в виде градиентной динамической системы $\frac{dx}{dt} = -gradV(x, d_1, d_2, \xi)$, где x — n -мерный вектор состояния системы, $d_1 \in D_1, d_2 \in D_2, D_1$ и D_2 — множества неопределенных и нечетких переменных, V — потенциальная функция системы. По величинам компонент вектора параметров d можно определить зоны риска и катастроф. Поведение указанных систем можно определить парой вида:

$P = \langle \Phi ПС, ПП \rangle$, где ФПС — фазовое пространство состояний, в котором исследуются фазовые портреты системы (динамику), а ПП — пространство параметров. В ПП нужно определить бифуркационные диаграммы, множество катастроф и ударные волны (т.е. границы странных аттракторов). Для реализации задачи требуется выполнение следующих процедур: анализ и обработка экономических временных рядов, идентификация (моделирование), определение множества катастроф и ударных волн, оценка и прогнозирование контрольных (адекватных) параметров и принятие экономических решений.

Данный класс динамических моделей является наиболее общим и адекватным современным экономическим процессам, изучаемым в рискологии, и может быть исследован с помощью интерактивной компьютерной системы с использованием средств и методов современных информационных технологий и проблемно-ориентированных программных пакетов. Программные оболочки таких систем являются основой создания автоматизированных рабочих мест экономиста-математика для исследований, принятия решений и управления в ПЭС разного уровня иерархии [115, 117, 158].

Степень сложности системы управления и принятия решений в рискологии зависит от уровня информационной определенности, а ее качество выше при учете смешанной неопределенности: стохастическая, множественная и нечеткая. Обобщенная модель исследуемого экономического или экологического процесса можно представить как $F_0: U \times W \rightarrow X$, а модели наблюдения за факторами и показателями как: $F\{C1\}: X \times V_x \rightarrow Y, F\{C2\}: C \times V_c \rightarrow \tilde{C}$, где $I_c = \{p(w), p(v_x), p(v_c)\}$ — информационное поле стохастической неопределенности; $I_\mu = \{w \in W, v_x \in V_x, v_c \in V_c\}$ — информационное поле множественной неопределенности; $I_n = \{\mu_{X_0}, \mu_{V_0}, \mu_{G^*}\}$ — нечеткое информационное поле.

Смешанную информационную неопределенность теперь можно описать в виде кортежа: $I_0 = \langle I_c, I_\mu, I_n \rangle$. При этом единая база данных и знаний интегрированной системы управления состоит из совокупности 3-х баз всех уровней иерархии $I = \langle B_0, B_1, B_2 \rangle$. В качестве функций принадлежности $\mu_{X_0}, \mu_{V_0}, \mu_{G^*}$ можно, в частности, принять “гауссовы” функции.

Следовательно, в данном случае задачу управления (принятия решения) можно свести к решению следующей оптимальной задачи:

$$u = \text{Arg max}_w M_w \{ \mu_d(x, w) \} = \text{Arg max}_{u \in U} M_w \{ \mu_{x_0}(F_0(u, w)) \times \mu_{v_0}(u) \cdot \mu_{G^*}(g) \}$$

при $C \in C^*$, где M — символ математического ожидания, $U = [u, r + \varepsilon_{\text{mp}}]$ — принятое решение ЛПР.

Рассмотрим теперь риск как векторный стохастический процесс $e(t)$ (например, эффективность, левверидж [159], прибыль или затраты и т.п.) в динамике, который удовлетворяет линейному стохастическому дифференциальному уравнению вида:

$$\dot{e}(t) = F(t)e(t) + G(t)w(t) + u(t),$$

а наблюдения за ним — как векторный случайный процесс $z(t)$ вида:

$$z(t) = H(t)e(t) + v(t).$$

Здесь $w(t)$ и $v(t)$ — случайные внешние возмущения (нормальные "белые шумы") с заданными вероятностными характеристиками [51, 116, 160], а $u(t)$ — вектор управления риском $e(t)$. Предполагается, что матрицы F , G , H , Q и R уже идентифицированы.

Пусть наблюдения $\{z(s)\}$ ведутся на интервале $0 \leq s \leq t$. Требуется найти оценку вектора (риска) $e(t)$ в виде $y(t) = \int_0^t A(t, s)z(s)ds$ так, чтобы минимизировать дисперсию $E[(e - y)^T(e - y)]$ при ограничениях $E[y_i^2] \leq a_i^2(t)$, $i = \overline{1, n}$, $a_i^2(t)$ — заданные функции ограничений на риск. Решение этой задачи представлено в [121].

Оптимизация в теории рисков. Рассмотрим некоторые подходы решения задач оптимизации в теории рисков при учете различного рода смешанных неопределенностей, присущих сложным процессам и системам.

В первую очередь речь идет о неопределенности целей, характеризуемой наличием не одного, а сразу многих критериев. Это так называемая проблема многокритериальной оптимизации. Формально постановка задачи (2.43) в этом случае может быть сохранена. Однако теперь под $f(x)$ следует понимать вектор-функции рисков с компонентами $f_1(x)$, $f_2(x)$, ..., $f_m(x)$, где m — общее число критериев.

Второй тип неопределенности (называемый также природной неопределенностью) связан с неопределенностью задания самой целевой функцией. Имеется в виду случай выбора оптимального решения в условиях, когда целевая функция помимо искомого вектора x содержит также некоторые неопределенные параметры, характеризуемые вектором ξ (вектором внутренней структуры или вектором влияния внешней среды), т.е. $f = f(x, \xi)$. Решая задачу минимизации функции $f(x, \xi)$ по x , мы можем найти решение лишь в виде зависимости $x(\xi)$. Если при этом о векторе ξ нет никакой информации, то результат оптимизации, естественно, будет неопределенным. Но, как правило, информация о векторе ξ обычно имеется. Правда, она может носить различный характер. Часто такая информация задается в виде некоторого множества неопределенных факторов Ω или в частном случае диапазонов их изменений. При этом считается, что $\xi \in \Omega$

(т.е. множественная неопределенность). В общем случае такая информация также не позволяет получить однозначное решение задачи оптимизации, так как зависимость $x(\xi)$ определяет лишь некоторое отображение множества неопределенных факторов Ω на множество искомых параметров x . В результате можно получить так называемое множество неопределенности результата $X_\xi \subseteq X$. Построение множества неопределенности результата X_ξ , как правило, связано с большим объемом вычислений. Поэтому на практике часто используется подход, предполагающий вместо построения всего множества X_ξ отыскание лишь односторонней (гарантированной) оценки и получение соответствующего гарантирующего результата [21, 52, 156, 160]:

$$x^* = \arg \min_{x \in X} \max_{\xi \in \Omega} f(x, \xi). \quad (2.42)$$

Другими словами, в качестве оптимального решения задачи в данном случае принимается такое решение x^* , которое обращает в минимум наихудшее (наибольшее) по всем допустимым неопределенным факторам значение целевой функции (минимаксное решение).

Решение x является гарантирующим в том смысле, что, каковы бы ни были значения неопределенных параметров ξ , выбор $x=x^*$ согласно (2.42) гарантирует, что при любом ξ значение целевой функции будет не больше, чем величина

$$f^* = \min_{x \in X} \max_{\xi \in \Omega} f(x, \xi), \quad (2.43)$$

называемая поэтому гарантированной оценкой. Действительно, для любого $x \in X$ справедливо неравенство: $\max_{\xi \in \Omega} f(x, \xi) \geq f(x, \xi)$. Поэтому при $x=x^*$ получаем

$$\max_{\xi \in \Omega} f(x^*, \xi) = \min_{x \in X} \max_{\xi \in \Omega} f(x, \xi) = f^* \geq f(x^*, \xi).$$

Основной недостаток данного подхода заключается в том, что гарантированная оценка, как правило, оказывается достаточно "пессимистической". В определенном смысле она является перестраховочной, так как соответствует решению при самом неблагоприятном в смысле значений целевой функции сочетании неопределенных факторов ξ .

Гарантированную оценку можно улучшить, если использовать дополнительную информацию о неопределенных факторах. В частности, если оказывается возможным к моменту реализации оптимального решения измерить (узнать) вектор ξ , то само оптимальное управление следует искать в виде зависимости $x(\xi)$ из условия

$$x(\xi): f(x, \xi). \quad (2.44)$$

Новая гарантированная оценка целевой функции при этом будет иметь следующий вид:

$$\tilde{f}^* = \max_{\xi \in \Omega} \min_{x \in X} f(x, \xi). \quad (2.45)$$

Так как в общем случае имеет место неравенство

$$\max_{\xi \in \Omega} \min_{x \in X} f(x, \xi) \leq \min_{x \in X} \max_{\xi \in \Omega} f(x, \xi), \quad \text{т.е.} \quad \tilde{f}^* : f^* \quad (\text{а речь идет о})$$

минимизации целевой функции по x), то оценку \tilde{f}^* следует признать более совершенной. Получение такой оценки обусловлено знанием неопределенных факторов в момент принятия решения.

С математической точки зрения, как видно, получение гарантированной оценки сводится к решению минимаксной/максиминной задачи оптимизации.

Гарантированная оценка f^* может быть также улучшена, если о неопределенных факторах известна какая-либо статистическая (пусть даже неполная) информация. Сначала предположим, что ξ — полностью случайный вектор с заданными статистическими характеристиками (законом распределения или функцией распределения). В этом случае исходная целевая функция $f(x, \xi)$ будет случайной величиной и вопрос о получении гарантированной оценки можно ставить и решать лишь в вероятностном смысле. В частности, можно потребовать, чтобы вероятность превышения целевой функцией $f(x, \xi)$ своего некоторого заданного уровня f_0 была не менее некоторой заданной величины α , т.е.:

$$P\{f(x, \xi) \leq f_0\} \geq \alpha. \quad (2.46)$$

Очевидно, что для каждого фиксированного вектора $x \in X$ можно найти свой наименьший уровень f_0 , называемый квантилем, при котором вероятность еще будет выполнена:

$$f_\alpha(x) = \min[f_0 : P\{f(x, \xi) \leq f_0\} \geq \alpha]. \quad (2.47)$$

Поэтому задача оптимизации, связанная с выбором гарантирующего решения, может быть сформулирована теперь как задача поиска такого вектора x^* , который обращает в минимум квантиль $f_\alpha(x)$:

$$x^* = \arg \min_{x \in X} f_\alpha(x). \quad (2.48)$$

По сути задача сводится к поиску вектора x^* , который обращает в минимум нижний уровень f_0 целевой функции $f(x, \xi)$ при условии, что не-превышение этого уровня гарантируется с вероятностью не менее чем α . Сама гарантированная (теперь по вероятности) оценка целевой функции будет:

$$f^* = \min_{x \in X} \max_{\xi' \in \Omega'} f_\alpha(x, \xi'). \quad (2.49)$$

Обратим внимание на тот факт, что сформулированная задача относится к классу так называемых стохастических задач оптимизации с вероятностными ограничениями.

Мы рассмотрели случай, когда ξ является полностью случайным вектором с заданными статистическими характеристиками. Однако, как правило, либо сами статистические характеристики являются неопределенными, либо наряду с полностью случайными параметрами присутствуют также и неопределенные параметры, для которых известно лишь множество неопределенности (т.е. диапазон изменения). В обоих случаях возникаемая дополнительная неопределенность может быть охарактеризована дополнительным вектором неопределенных параметров $\xi' \in \Omega'$. Формируя в этом случае задачу

оптимизации с целью отыскания гарантирующего решения, мы приходим к минимаксно-стохастической постановке:

$$x^* = \arg \min_{x \in X} \max_{\xi' \in \Omega'} f_\alpha(x, \xi'), \quad (2.50)$$

где через $f_\alpha(x, \xi')$ по-прежнему обозначен квантиль целевой функции, который теперь зависит также от дополнительных неопределенных факторов ξ' .

Таким образом, задача (2.50) как бы обобщает задачи (2.42) и (2.48). Решение задачи (2.50) реализует принцип наилучшего гарантированного результата, с одной стороны, по вероятности, сопутствующей всем случайным факторам, а с другой — по всем неопределенным факторам. Получаемая при этом гарантированная оценка целевой функции будет:

$$f^* = \min_{x \in X} \max_{\xi' \in \Omega'} f_\alpha(x, \xi'). \quad (2.51)$$

Так как методы решения стохастических задач оптимизации в вероятностной постановке достаточно сложны в реализации, часто в практике используются более простые статистические характеристики целевой функции. Простейшей такой характеристикой является математическое ожидание, т.е. $\bar{f}(x) = M[f(x, \xi)]$. Здесь символ M обозначает операцию статистического осреднения по совокупности всех случайных факторов ξ . Постановка задачи оптимизации в этом случае принимает вид:

$$x^* = \arg \min_{x \in X} M[f(x, \xi)]. \quad (2.52)$$

При этом следует иметь в виду, что использование математического ожидания в качестве новой целевой (вторичной) функции обеспечит оптимальность искомому решению лишь в среднем, по совокупности всех реализаций. В отдельных же реализациях это решение может оказаться просто неприемлемым. Учитывая это и стремясь контролировать не только среднее значение исходной целевой функции, но и возможные ее отклонения от этого значения, часто рассматривают ее дополнительные статистические характеристики, например дисперсию:

$$\bar{f}_{\text{дон}}(x) = M \left\{ [f(x, \xi) - \bar{f}(x)]^2 \right\},$$

вводя последние либо в число дополнительных ограничений, либо в число дополнительных целевых функций.

Из сказанного следует, что при наличии случайных факторов в исходной задаче можно предложить различные постановки задач оптимизации в терминах новых вторичных целевых функций. Таким образом, постановка окончательной стохастической задачи оптимизации является неформальным актом.

Нетрудно заметить, что использование отдельных статистических характеристик в окончательной постановке задачи оптимизации не может гарантировать (в вероятностном смысле) приемлемого результата во всех реализациях. Это становится возможным, если в самой постановке стохастической задачи потребовать выполнение исходных ограничений, в том числе и не превышение целевой функцией своего наименьшего значения, по

вероятности. Тем не менее использование отдельных статистических характеристик в качестве вспомогательных (вторичных) целевых функций находит широкое применение при получении приближенных решений.

Заметим, что традиционные методы оценки и управления рисками, базирующиеся на теории вероятности или на основе сценарного подхода, с методологической точки зрения, недостаточно адекватны, а с практической — требуют большого объема компьютерных вычислений. Поэтому важно использовать для решения данной проблемы также подходы нечеткой математики. Использование нечеткой математики представляется иногда более адекватным и удобным с вычислительной точки зрения.

Итак, в данном пункте предложен подход для решения проблемы описания и оценивания рисков в динамике для нелинейных эколого-экономических процессов переходной экономики, а также оптимизации и управления в условиях смешанной информационной неопределенности. Результаты данной работы можно расширить для случая нечеткой исходной информации. Рассмотренный выше подход можно обобщить также для случая ограничений для выражения $E[\dot{y}\dot{y}^T]$

Отметим также, что актуальными и перспективными направлениями исследований в современной теории рисков являются также следующие вопросы: анализ рисков как динамический процесс и его прогноз; динамическая рискология (т.е. учет динамики в теории рисков); адаптивная рискология; моделирование и управление рисками в условиях смешанной неопределенности; методы стохастического и гарантированного оценивания риска; оптимизация управления рисками; нейросетевое моделирование и генетические алгоритмы в рискологии; нечеткое моделирование в рискологии; нелинейные модели в рискологии; интеллектуализация принятия решений в условиях рисков; оценка рисков для распределенных параметров (т.е. для случайных полей) и др.

Проблема моделирования динамики риска при многокритериальной оптимизации и в условиях неопределенности. Многокритериальная задача оптимизации при неопределенности (МЗН) рассматривается как кортеж вида:

$$\langle X, Y, f(x, y) \rangle, \quad (4.43)$$

где альтернативы (т.е. решения) есть вектор $x \in X \subset R^n$, вектор неопределенности это $y \in Y \subset R^m$, а $f_i(x, y)$ ($i \in N = \{1, \dots, N\}$) - компоненты векторного критерия $f(x, y)$. В задаче (1) ЛПР стремится выбрать альтернативу $\hat{x} \in X$ таким образом, чтобы достичь одновременно возможно *больших* значений компонент вектора $f(x, y)$. При этом ЛПР учитывает возможность реализации любой возможной неопределенности $y \in Y$.

Векторная функция риска (ВФР) по принципу Сэвиджа определяется как

$$\phi_i(x, y) = \max_{z \in X} f_i(z, y) - f_i(x, y), \quad i \in N \quad (4.44)$$

где $\phi(x, y) = (\phi_1(x, y), \dots, \phi_N(x, y))$.

ВФР на основе «векторного» подхода определяется как

$$\phi_i(x, y) = f_i(g(y), y) - f_i(x, y), \quad i \in N, \quad (4.45)$$

где функция $g(y)$ определена на множестве Y значений неопределенностей y и при каждом $y \in Y$ значение функции $g(y)$ является максимальным по Слейтеру решением многокритериальной задачи:

$$\langle X, \{f_i(x, y)\}_{i \in N} \rangle. \quad (4.46)$$

Тогда ВФР есть вектор $\phi = (\phi_1, \dots, \phi_N)$, определенный в (4.45). Заметим, что (4.46) для каждого $y \in Y$ является N – критериальной задачей.

Модель конкуренции в условиях риска. Рассматриваются множества X и Y – как множества решений двух конкурирующих экономических систем, а сравнение качества функционирования этих систем происходит по одним и тем же критериям $(F_1, F_2, \dots, F_N) = F$, причем F_i есть функционал, определенный на альтернативах обеих систем, т. е. $F_i : X \rightarrow R$; а также $F_i : Y \rightarrow R$.

Тогда математическую модель конкуренции можно представить в виде

$$\langle X, Y, F(x) - F(y) \rangle, \quad \text{т. е. } f(x, y) := F(x) - F(y).$$

При этом первая система за счет выбора альтернативы $\hat{x} \in X$ стремится к увеличению всех компонентов вектора $F(x) - F(y) = (F_1(x) - F_1(y), \dots, F_N(x) - F_N(y))$, а вторая система за счет выбора $\hat{y} \in Y$ стремится к их уменьшению.

Обобщенную динамическую модель МЗН («односторонний случай») представим в виде $\langle S, U, Z, J(U, Z, t_0, x_0) \rangle$, где S – управляемая система: $S : \dot{x} = f(x, u, z)$, $x(t_0) = x_0$, в частности, $S : \dot{x} = A(t)x + B(t)u + C(t)z$, $x(t_0) = x_0$.

Здесь U есть множество стратегий у ЛПР; Z – множество неопределенностей Z ; $J_i(U, Z, t_0, x_0)$ – i -ая компонента векторного критерия $J = (J_1, \dots, J_N)$, в частности,

$$J_i(U, Z, t_0, x_0) = \Gamma_i(t_k, x(t_k)) + \int_{t_0}^{t_k} F_i(t, x(t), u[t], z[t]) dt, \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Принятие решений в условиях неопределенности и динамики рисков представлен как кортеж $\langle X, Y, F(x, y) \rangle$,

где $x \in X \subset R^n$; $y \in Y \subset R^m$; $F = (f_1, \dots, f_N)$; $X \times Y \rightarrow R$, $i = \overline{1, N}$,

причем

$$\begin{cases} \dot{x} = \phi_x(x, a) \\ \dot{y} = \phi_y(y, b) \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} \dot{x} = \phi_x(x, y, a) \\ \dot{y} = \phi_y(x, y, b) \end{cases}$$

Векторы параметров задаются как $a \in A$, $b \in B$. Здесь функцию риска также можно определить как:

$$\phi_i(x, y) = \max_{z \in X} f_i(z, y) - f_i(x, y)$$

и тогда $\phi(x, y) = (\phi_1(x, y), \dots, \phi_N(x, y))$ есть векторная функция риска.

В общем виде динамическая многокритериальная задача в условиях неопределенностей можно представить как набор:

$\langle S^0, X, U, \Xi, Q, J, X_0, X_T \rangle$, где динамика системы S^0 описывается дифференциальным уравнением относительно вектора состояния $x(t) \in X$; U — множество стратегий у ЛПР; Ξ — множество неопределенностей; $J_i(\cdot)$ — i -я компонента векторного критерия $J(\cdot) = (J_1(\cdot), \dots, J_N(\cdot))$, в частности, критерии $J_i(\cdot)$ имеют вид линейно-квадратичной формы; Q — множество системных параметров, подлежащих определению в ходе оценивания динамики риска; X_0 и X_T — множества начальных и конечных состояний системы; $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$ — вектор состояния рассматриваемой сложной системы и удовлетворяет дифференциальному уравнению:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), w(t), q, t), t \geq t_0, x(t_0) = x_0 \in X_0.$$

В частности, риск рассматривается как векторный стохастический процесс $e(t)$ в динамике, который удовлетворяет линейному стохастическому дифференциальному уравнению вида: $\dot{e}(t) = F(t)e(t) + G(t)w(t) + u(t)$, а наблюдения за ним как векторный случайный процесс $z(t)$ вида: $z(t) = H(t)e(t) + v(t)$. Здесь $w(t)$ и $v(t)$ — случайные внешние возмущения (нормальные "белые шумы") с заданными вероятностными характеристиками, а $u(t)$ — вектор управления риском $e(t)$ [286].

2.6. Синергетическая модель управления эколого-экономической безопасностью предприятия в условиях нестабильности

Обеспечение и управление безопасностью (экономической, экологической, технологической, информационной и др.) и без рискованного функционирования и развития экономических систем, в частности, промышленных предприятий разного масштаба и в условиях нестабильной внешнеэкономической, политической среды, глобализации и т.п. есть проблема актуальная. Сложность решения данной проблемы заключается еще и в том, что любое предприятие (производственно-экономическая система — ПЭС) с одной стороны представляет собой активная система (АС), а с другой — имеет в целом, нестабильную внешнюю среду, обусловленную стохастическими и неопределенными факторами. Следует также подчеркнуть важность решения данной задачи как комплексной эколого-экономической. Поэтому рассмотрение проблемы без глубокого и всестороннего анализа и моделирования процессов контроля состояния и разработки систем управления безопасностью ПЭС с использованием современных методов, подходов моделирования и информационных технологий есть фикция. В данном разделе делается попытка изучения процессов моделирования и эколого-экономического управления указанных процессов с позиций теории систем, методов нелинейной динамики и теории рисков и безопасности и др. [286].

При этом общей проблемой является комплексный анализ, разработка возможных подходов мониторинга, моделирования и управления процессом обеспечения безопасностью и без рискованного функционирования и развития

предприятия (производственной системы – ПС) для эффективного воздействия на потенциальные и реальные угрозы, позволяющее ему успешно функционировать в нестабильных условиях внешней и внутренней среды. При этом учитывается, что «безопасность» и «риск» взаимосвязанные понятия, т.е. если Y - уровень безопасности ПС, а X – уровень риска, то $X + Y = 1$ и для обеспечения уровня безопасности Y требуется от ПС определенных затрат $z = Z(Y)$, где $Z(.)$ – возрастающая функция Y . Эти затраты включают в себя две составляющие - первая связана с переходом на новый уровень безопасности (смена технологии, закупка более совершенных систем контроля, обучение персонала и т.п.), а вторая – с поддержанием этого уровня в течение рассматриваемого периода времени (повышенные издержки при новой более безопасной технологии, затраты на обслуживание систем контроля и т.д.).

Напомним, что синергетическую управляемую модель динамики нелинейной ПЭС с учетом стохастичности и хаотичности поведения может быть в общем виде представлена как система уравнений (1.1). Такая обобщенная модель позволяет также учесть и то, что как риск, так и уровень безопасности имеют свою динамику и являются стохастическими процессами, а не одномоментными величинами [286]. Например, динамическая модель системы можно задать в виде уравнений $\dot{x} = F(x, u, v, \xi)$; $\dot{v} = g(v, t, \lambda)$, а уравнения наблюдений(измерений) как: $Y_x = h_x(x, \zeta_x, t)$, $Y_z = h_z(x, \zeta_z, t)$ и аналогично могут быть заданы другие модели измерений/наблюдений, причем система уравнений обобщенной эколого-экономической модели можно представить как (1.2).

В частности, динамическая модель, основанная на потоках знаний и финансов может быть представлена как система уравнений вида:

$$\frac{d\tau_i}{dt} = \alpha_1 \tau_i M_i + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \beta_{1k} \tau_k - \gamma_1 \tau_i + \xi_{1i} + u_{1i}, \quad \frac{dM_i}{dt} = \alpha_2 \tau_i M_i + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \beta_{2k} M_k - \gamma_2 M_i + \xi_{2i} + u_{2i},$$

(2.53)

где $\alpha_1, \alpha_2, \{\beta_{1k}\}, \{\beta_{2k}\}, \gamma_1, \gamma_2$ - неотрицательные константы; τ_i - информационный ресурс (база данных и знаний), используемый для i -й подсистемы (фирмы); M_i - общий капитал (деньги), имеющийся у i -й подсистемы (фирмы); ξ_{1i}, ξ_{2i} - внешние возмущающие воздействия (т.е. влияние внешней среды); u_{1i}, u_{2i} - управляющие воздействия (или принимаемые решения); $\tau_{i0} \leq \tau_i \leq \tau_{iS}$ - обычный диапазон имеющейся для нормального функционирования i -й подсистемы; $M_{i0} \leq M_i \leq M_{iS}$ - необходимый объем капитала i -й подсистемы для нормального функционирования, причем: $\{\tau_{i0}, M_{i0}\}$ – необходимый минимальный объем ресурсов i -й подсистемы, $\{\tau_{iS}, M_{iS}\}$ – пороговые значения ресурсов, за пределами которых i -я подсистема может быть разделена на несколько дочерних подсистем.

Рассмотрена задача создания системы эколого-экономического моделирования и управления предприятием, модель которого описана в общем виде и управление заключается в определении вектора компонент

принимаемых эколого-экономических решений, обеспечивающий безопасное функционирование и развитие предприятия. Предложенная интегрированная система эколого-экономического мониторинга и управления безопасностью ПС включает в свою структуру подсистему интеллектуального управления, подсистему поддержки принятия решений, подсистему наблюдений и измерений, подсистему обработки информации, подсистему экономико-экологического мониторинга, подсистему управления экономической безопасностью. Учитываются следующие потоки (переменные): переменные ресурсов, переменные информации, управленческие переменные, стохастические возмущающие переменные, переменные угроз и опасностей (как внешних, так и внутренних), переменные загрязнения, поведенческие переменные и др.

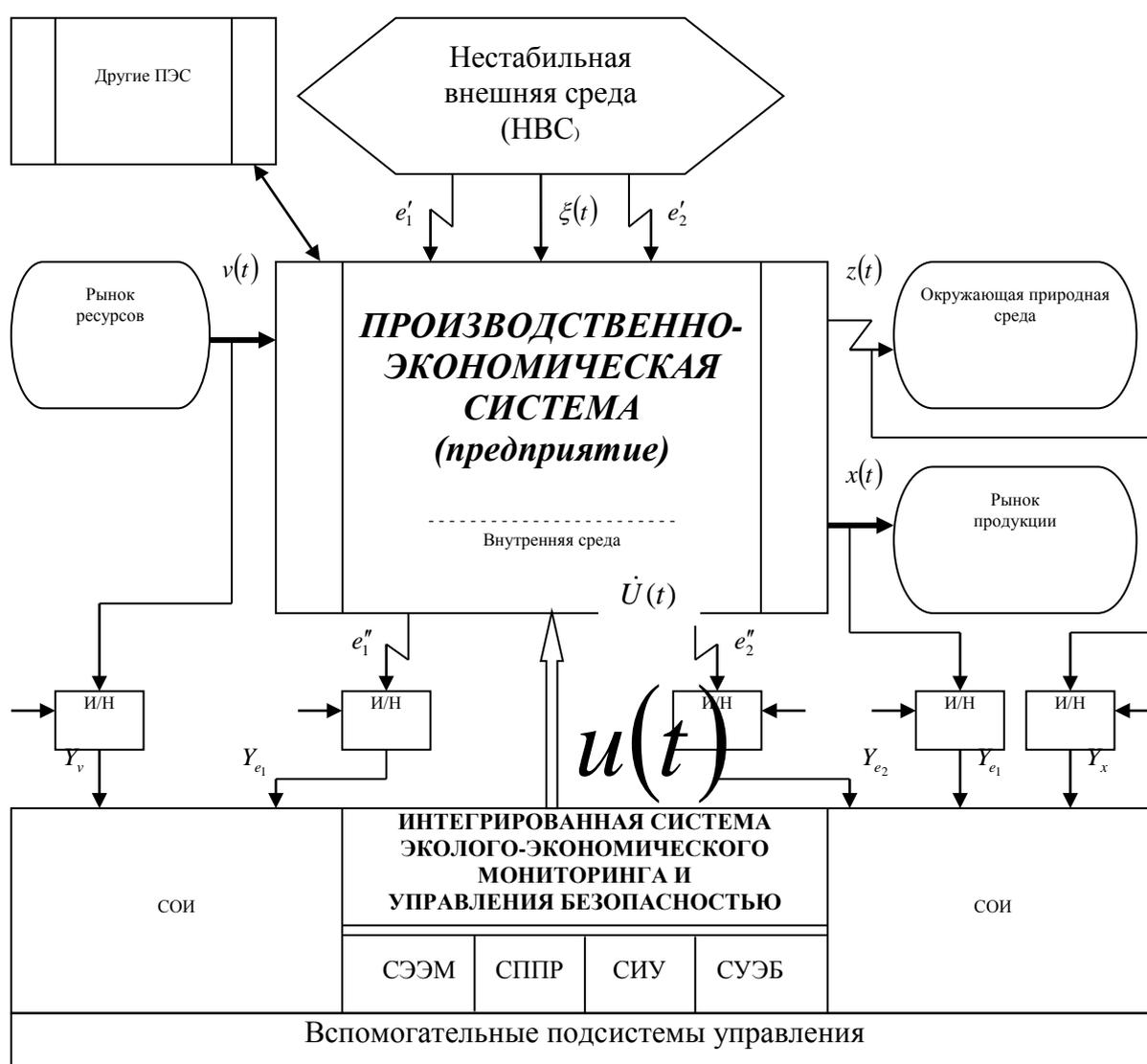


Рис. 2.3. Обобщенная структура интегрированного эколого-экономического управления безопасностью производственной системы

Разработана структура интегрированной интеллектуальной системы эколого-экономического управления предприятием, которая включает следующие подсистемы и блоки: СИУ – система интеллектуального управления, СППР – система поддержки принятия решений, СОИ – система

обработки информации, СЭЭМ – система экономико-экологического мониторинга, СУЭБ – система управления эколого-экономической безопасностью, Н/И – наблюдатель/измеритель и др. При этом учитывается наличие следующей совокупности потоков переменных: переменные ресурсов (ПР), переменные информации (ПИ), управленческие переменные (УП), стохастические возмущающие переменные (СП), переменные угроз и опасностей (ПУ) (как внешних, так и внутренних), т.е. $\{e'_1, e''_1, e'_2, e''_2\}$ – переменные загрязнения (ПЗ), поведенческие переменные (ПП) и другие (рис.2.3).

Выводы по разделу 2

1. Рассмотрена динамическая модель управления трансформационной экономики в условиях неопределенностей и рисков с учетом нелинейности процессов. Предложены варианты решения задачи.

2. Предложены интегральная нелинейная динамическая, а также стохастическая эколого-экономические модели ПЭС.

3. С общесистемных и синергетических позиций рассмотрена проблема эколого-экономического моделирования и управления безопасностью предприятия в условиях ее функционирования в нестабильной и рискованной (опасной) среде. Предложена обобщенная модель динамики и структура интегрированной интеллектуальной системы мониторинга и управления безопасностью ПС.

4. Предложена модель влияния инновационных технологий на ПЭС с учетом синергизма систем для различных условий взаимодействия подсистем.

5. Рассмотрен вопрос динамического моделирования и управления рисками в случае смешанной исходной информации.

6. Предложена динамическая модель оптимального управления в системе эколого-экономического управления ПЭС, а также подход к решению проблемы моделирования риска при многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности.

Для перспективных исследований рекомендован ряд нерешенных задач, а именно, задачи моделирования процессов в условиях учета взаимодействий между ЭС (в частности, их сотрудничество, корпоративность, конкуренция, т.е. в целом синергетичность), влияние распределенных параметров и переменных в моделях, учет активности ПС, разработка дискретного описания процессов в моделях экономической динамики и многое другое.

РАЗДЕЛ 3

ИНТЕГРАЦИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПЭС

3.1. Концепция, принципы создания и структура интегрированных интеллектуальных компьютеризованных систем управления

Современная эколого-экономическая обстановка в условиях перехода к рыночным отношениям требует нового подхода к планированию, управлению и мониторингу производственных процессов предприятия (т.е. ПТК). Этот подход затрагивает все аспекты экономики ПТК: организации производства и сбыта, требует интеграции всех процессов мониторинга, управления и принятия решений в новой информационной среде. Такие интегрированные компьютеризованные системы позволят более оперативно и гибко принимать различные управленческие решения, поставлять на рынок продукцию нужного качества, с меньшими затратами и, самое главное, с учетом экологической ситуации в зоне техногенного промышленного предприятия.

Следует отметить очень важное высказывание известного акад. РАН А.А. Красовского [54]: «реальным и, возможно, единственным путем преодоления кризиса науки об управлении является стимулирование интеграционных процессов и развитие современной прикладной теории управления, которая должна учитывать экономические, социальные, экологические требования, безопасность, энергосбережения и многое другое. Конечно, и в других областях науки и технологии обязаны учитываться эти требования, но потенциальные возможности автоматизации в сочетании с физической теорией управления, информационными технологиями, микроэлектроникой наибольшие.... Обострение опасности техногенных и природных катастроф предъявляет к современной прикладной теории управления весьма жесткие требования».

Интегрированная интеллектуальная компьютеризованная система (системы типа ИКС-"X"), рассматриваемая в данной работе, является информационной системой, построенной на основе принципов системного подхода и концепции 4-х "И" [11], т.е. с максимальной интеграцией, интеллектуализацией, индивидуализацией и единой информационной базой, принципом максимального учета «НЕ- и МНОГО -факторного» синтеза, а также максимально возможной экологизацией производственных процессов (т.е. на основе концепции "4-х "И" + 2"). Системы типа "X" относятся к классу больших и сложных логистических систем.

Основными направлениями интеграции подсистем в системе "X" являются следующие:

- интеграция баз данных и знаний и создание единого банка данных с распределенной обработкой;

- техническая интеграция и создание неоднородной локальной информационно-компьютерной сети АРМ и рабочих станций;
- математическая, алгоритмическая и программная интеграция по уровням иерархии.

Направлениями и уровнями интеллектуализации в системе являются:

- интеллектуализация АРМ всех уровней;
- интеллектуализация регуляторов на основе активных экспертных систем со смешанной базой знаний, в том числе с нечеткой;
- интеллектуализация интерфейсов программных пакетов системы;
- интеллектуализация задач проектирования, контроля и диагностирования объектов углеобогащательной технологии.

В приложении А данной работы приведена оценка эколого-экономической эффективности использования предлагаемых методов интеллектуализации и использования нечетких экспертных систем при принятии решений для управления ТП ОФ в СЭЭМ, а в приложении В приведена оценка величины снижения ущерба, в частности, атмосфере от выбросов вредных веществ в процессе углеобогащения при их автоматизации и интеллектуализации.

Структура системы управления ОФ. С учетом интеграции и интеллектуализации процессов управления системой в целом структура системы управления фабрикой претерпевает соответствующие изменения, вытекающие из критерия оперативного управления. ОФ как объект управления по-прежнему остается трехуровневым с соответствующими сферами управления: организационно - экономическая деятельность, производство в целом и технологические процессы.

Для управления фабрикой следует использовать интегрированную АСУ, в которой нижний уровень образуют АСУ технологическими процессами, средний уровень — автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления, система организационно-экономического и экологического управления фабрикой (АСОЭ и ЭУ). Структура ИАСУ ОФ приведена на рис. 3.1.

В системах нижнего уровня управления целесообразно выделить подсистемы по технологическому принципу (углеподготовка, основные процессы обогащения, водно-шламовая система, погрузка). Автоматизация отдельных функций технологических процессов осуществляется с помощью локальных систем автоматического управления, а комплексы процессов, объединенных в технологические отделения, — при помощи автоматизированного рабочего места оператора. Причем наиболее важные и сложные комплексы могут иметь свои АРМ по отдельным, наиболее ответственным процессам, например, для процесса флотации в составе комплекса процесса обогащения.

К функциям подсистем управления технологическими процессами относятся поддержание уровней в технологических емкостях, плотности разделения в тяжелосредних установках, температуры сушильных газов, дозирование реагентов и т.п.

Общее управление технологическими процессами, включая контроль за работой оборудования, диагностику его состояния, сигнализацию, пуск, останов и др. Функции, осуществляется интеллектуальными системами управления (ИСУ), являющимися верхним уровнем иерархии по отношению к локальным СУ. ИСУ используют опыт и интуицию специалистов по управлению процессами (комплексами), которые формируются в базе знаний. Благодаря этому операторы низкой квалификации могут управлять процессами на должном уровне. По мере накопления опыта база знаний может пополняться и корректироваться. Технической базой ИСУ являются различные ПЭВМ. Все АРМ объединены в локальную вычислительную сеть. В эту же сеть подключен АРМ диспетчера фабрики, осуществляющего общее управление производством и координацию функционирования отдельных участков и производств.

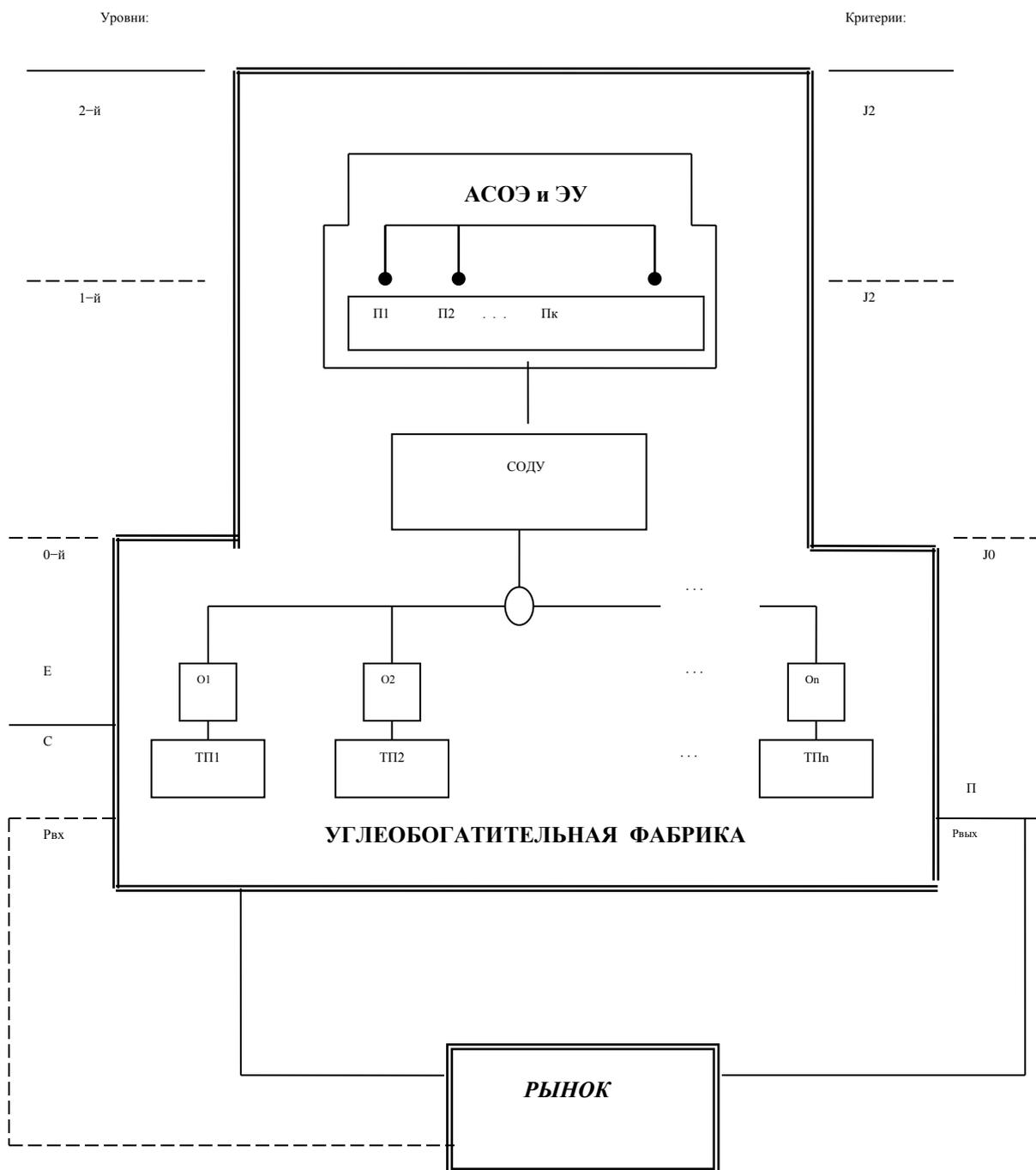


Рис. 3.1. Структура ИАСУ ОФ.

Обозначения: АСОЭ и ЭУ – автоматизированная система организационно-экономического и экологического управления; СОДУ – оперативно-диспетчерское управление; П1, ..., Пк – подсистемы АСОЭ и ЭУ; О1, ..., Оn – оператор/технолог; ТП1, ..., ТПn – технологические процессы; С – сырье и ресурсы; П – товарный продукт; Рвх – вектор параметров сырьевой базы; Рвых – вектор параметров товарного продукта

ИСУ позволяет управлять технологическими процессами и принимать решения при нечеткой информации об их состоянии. Для каждого технологического процесса ИСУ, по существу, являются гибридным регулятором. Такие системы управления эффективны при любом уровне

оснащения процессов средствами автоматизации. Функциональная структура гибридной системы управления приведена на рис. 3.2.

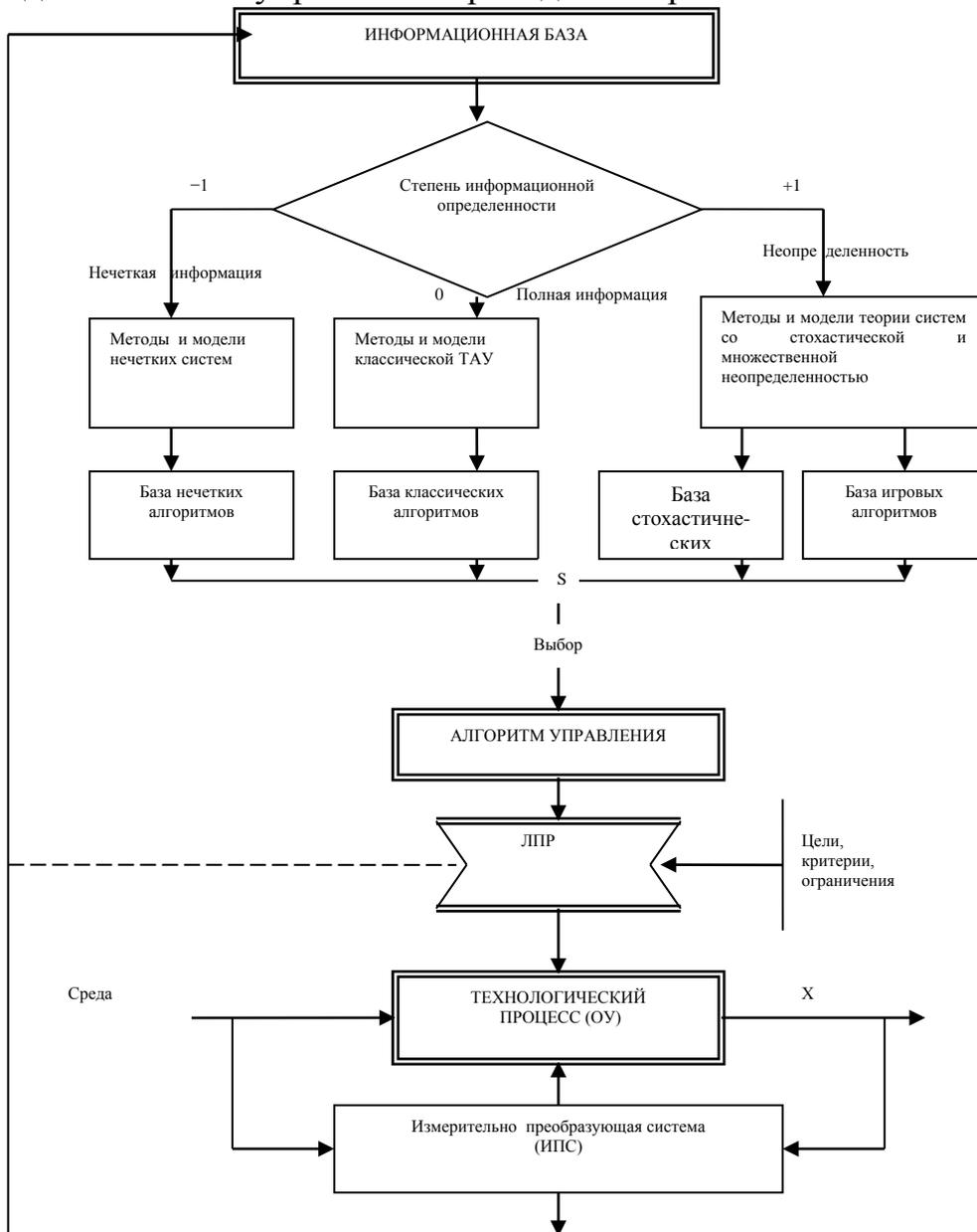


Рис. 3.2. Функциональная структура гибридной системы управления в ИАСУ

В подавляющем большинстве случаев технологические процессы на фабрике оснащены автоматическими регуляторами отдельных простых параметров (высота отсадочной постели, плотность суспензии и др.), а качество конечных продуктов зависит одновременно от нескольких режимных параметров. В таких случаях лицо, принимающее решение, выполняет роль регулятора качества, используя локальные СУ для достижения цели управления, воздействуя на задатчики. В случае отсутствия локальных САУ управляющие воздействия осуществляют операторы соответствующих процессов. Если функционируют более совершенные системы автоматического управления качеством конечных продуктов (зольность, влажность, концентрат и т.п.), роль ЛПР заключается в наблюдении за работой СУ и оборудования и

во вмешательстве при нарушении условий нормального функционирования аппаратуры или отказа.

Диспетчер фабрики управляет производством в реальном масштабе времени через оперативный персонал фабрики и частично непосредственно набирает маршруты и запускает линии технологического оборудования (например, поточно-транспортную систему). Все АРМ подсистемы организационно-экономического управления объединены в локальную вычислительную сеть (рис. 3.3), которая с ЛВС нижнего и среднего уровней образует общую вычислительную сеть фабрики.

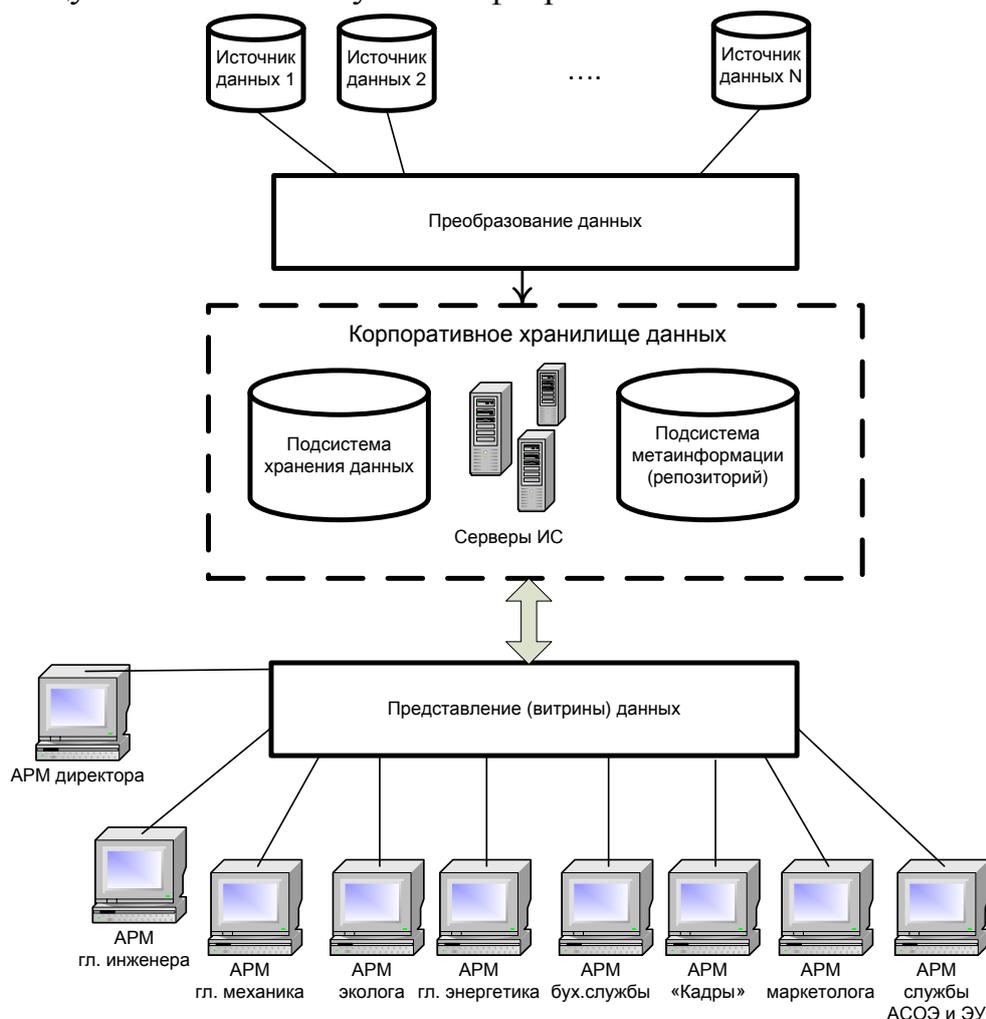


Рис. 3.3. Локальная компьютерная сеть АРМ АСОЭ и ЭУ ОФ.

Одной из важных здесь является подсистема экологического мониторинга, которая выполняет функции контроля за загрязнением атмосферы, воды и почвы, учитывает вредные выбросы, подлежащие контролю со стороны природоохранных органов, формирует базу данных по экологическим вопросам, автоматизирует подготовку документов статистической отчетности, контролирует выполнение плана мероприятий по совершенствованию техники и технологии и повышению экологической безопасности.

Функциональная структура верхнего уровня ИАСУ ОФ. Структуру автоматизированной системы организационно-экономического управления

образуют АРМ директора, главного инженера, экономиста, бухгалтерской службы, главного механика, главного энергетика, отдела кадров, маркетолога, эколога и службы АСУ. Основные характеристики АРМ приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№ п/п	Наименование АРМ	Решаемые задачи	Входная информация	Выходная информация
1	2	3	4	5
1	АРМ директора фабрики	1. Анализ и контроль за основными показателями работы фабрики 2. Принятие решений и формирование управляющих воздействий	Вся информация из вычислительной сети фабрики	Формы выходных документов Статистическая отчетность
2	АРМ главного инженера фабрики	1. Анализ плана производства и реализации 2. Координация работы технологических участков фабрики.	Вся информация из вычислительной сети фабрики	Формы выходных документов Статистическая отчетность
3	АРМ планово-экономической службы	1. Календарное планирование производства. 2. Оперативный учет и контроль за показателями работы фабрики.	1. План обогащения на год, квартал, месяц 2. План работы, смен основного производства 3. Поступление рядовых углей за сутки по поставщикам	1. Выпуск концентрата (промпродукта) нарастающим итогом с начала месяца, квартала, года 2. Выпуск породы за сутки, с начала месяца
		3. Расчет себестоимости продукции и прибыли. 4. Формирование выходных документов статистической отчетности.	4. Переработка рядового угля за сутки 5. Выпуск концентрата за сутки 6. План продуктов обогащения 7. Оперативные данные по погрузке концентрата за сутки 8. Время работы и простоев фабрики 9. План по труду	3. Поступление рядовых углей за месяц по поставщикам 4. Переработка угля за месяц и с начала года 5. Отгрузка товарной продукции по договорам и заказам 6. Работа и простои фабрики за месяц и с начала года
4	АРМ бухгалтер	1. Учет отработанного времени	1. Нормативно-справочная ин-	1. Ведомость разового аванса

	<p>ской службы</p> <p>1. Учет труда и начисление заработной платы</p>	<p>2. Начисление заработной платы</p> <p>3. Расчет удержаний из заработной платы</p> <p>4. Формирование сводов бухгалтерской отчетности</p> <p>5. Контроль за использованием фонда оплаты труда</p>	<p>формация (картотека лицевых счетов, фонд рабочего времени, ведомости вида оплат, удержаний, ставки налогообложения и др.)</p> <p>2. Справочники и классификаторы (налогоплательщиков, видов нетрудоспособностей, подразделений фабрики и др.)</p> <p>3. Оперативная входная информация (рапорт на повременные работы, ведомости прочих начислений, выплат пособий по соцстраху, о надбавках и зарплате, удержаний и др.)</p>	<p>2. Расчетные листы на зарплату</p> <p>3. Реестр на выдачу аванса и заработной платы для сбербанка</p> <p>4. Реестр на выдачу аванса и заработной платы для фабрики</p> <p>5. Реестр на перечисление ссуды</p> <p>6. Ведомость удержаний в пользу государства, по исправительно-трудовым работам, исполнительным листам, страховым взносам, по видам</p>
	<p>2. Учет основных фондов</p>	<p>1. Формирование информации о наличии движений основных фондов по фабрике и подразделениям</p> <p>2. Контроль за сохранностью объектов основных фондов</p> <p>3. Исчисление амортизационных отчислений и платы за основные фонды</p>	<p>1. Акт приема-передачи основных фондов</p> <p>2. Накладная на внутреннее перемещение</p> <p>3. Акт о ликвидации основных фондов</p> <p>4. Ведомость по поступлению основных фондов</p>	<p>1. Ведомость специальных основных фондов</p> <p>2. Инвентарная опись основных фондов</p> <p>3. Ведомость распределения балансовой стоимости и амортизационных отчислений по отраслям, видам и группам основных фондов</p>

		<p>4. Определение износа основных фондов</p> <p>5. Формирование информации о степени использования основных фондов</p> <p>6. Выявление излишних фондов</p> <p>7. Определение результатов от ликвидации основных фондов и убытков</p> <p>8. Формирование отчетных показателей</p>	<p>5. Инвентарные карточки индивидуального и группового учета основных фондов по видам</p> <p>6. Опись инвентарных карточек</p> <p>7. Инвентарный список основных фондов</p>	<p>4. Ведомость переданных основных фондов</p> <p>5. Ведомость внутреннего перемещения основных фондов</p> <p>6. Ведомость поступивших основных фондов</p>
	3. Учет материальных ценностей	<p>1. Формирование информации о наличии материалов, топлива, запасных частей, малоценных и быстроизнашивающихся предметов по местам их хранения и материально-ответственным лицам</p> <p>2. Исчисление затрат по приобретению материальных ценностей</p> <p>3. Контроль за фактическим наличием и соответствием нормам запасов</p> <p>4. Получение информации для оценки экономичности различных вариантов пополнения материальных ресурсов, исчисления издержек и хранения.</p> <p>5. Контроль за использованием, выявление отклонений от норм расхода</p> <p>6. Документирование операций по движению производственных запасов, контроль за достоверностью входных и выходных документов</p> <p>7. Ежемесячное определение износа, контроль за списанием</p> <p>8. Формирование показателей о наличии и движении производственных запасов в системе счетов бух. Учета</p>	<p>1. Карточка складского учета материалов</p> <p>2. Приходный ордер</p> <p>3. Требования</p> <p>4. Товарная накладная на отпуск материалов на сторону</p> <p>5. Лимитно-заборная карта на отпуск прочих материалов</p> <p>6. Акт на списание материалов, малоценных и быстроизнашивающихся предметов</p>	<p>1. Ведомость по реализации услуг и материальных ценностей</p> <p>2. Сводная оборотная ведомость</p> <p>3. Ведомость бухгалтерских проводок по учету материалов, расчетам с покупателями и поставщиками</p> <p>4. Ведомость расчетов с поставщиками</p> <p>5. Ведомость расчетов с покупателями</p> <p>6. Сальдовая ведомость</p> <p>7. Ведомость списания спецодежды с истекшим сроком службы</p> <p>8. Ведомость начислений износа спецодежды, инструмента и быстроизнашивающихся и малоценных предметов</p>
5	АРМ	1. Планирование ремонтных	1. Нормативы по	1. Журнал учета

	службы механика	работ 2. Контроль за объемом ремонтных работ 3. Расчет потребности и заказ запчастей и оборудования 4. Расчет и контроль за ресурсом узлов и оборудования 5. Формирование графика ППР и контроль за исполнением	техническому обслуживанию и ремонту оборудования 2. Наряды на проведение ремонтных работ 3. Структура ремонтного цикла	неплановых остановок фабрики 2. Сводная ведомость учета неплановых простоев фабрики из-за отсутствия отказов оборудования 3. Диаграмма времени простоев оборудования 4. Годовой график ремонта электромеханического оборудования. 5. Ведомость расхода запчастей по участкам фабрики 6. Ведомость оборудования, требующего обслуживания и ремонта.
6	АРМ главного энергетика фабрики	1. Учет и контроль за расходом электроэнергии на производство и непроизводственные нужды 2. Расчет и контроль за удельным расходом электроэнергии 3. Контроль за расходом электроэнергии в часы максимума нагрузки электросистемы 4. Управление потребителями-регуляторами 5. Учет и контроль за расходом электроэнергии по участкам 6. Формирование сменных, суточных и месячных показателей расхода электроэнергии по фабрике и по участкам 7. Формирование графика снижения потребления электроэнергии токоприемниками 8. Прогнозирование текущего максимума активной нагрузки 9. Планирование и расчет заявок на подачу электроэнергии. 10. Расчет стоимости израсходованной электроэнергии	1. План потребления энергоносителей 2. План распределения установленного лимита электроэнергии по участкам 3. Оперативные данные о текущем расходе электроэнергии за смену, сутки и с начала месяца	1. Ведомость расхода энергоресурсов на производственные нужды 2. Сводная ведомость расхода энергоресурсов по участкам фабрики 3. Ведомость удельного расхода электроэнергии 4. Ведомость расчета затрат на электроэнергию 5. Ведомость потребителей-регуляторов для управления расходом электроэнергии в часы максимума нагрузки энергосистемы 6. График снижения потребления электроэнергии токоприемниками

7	АРМ "Кадры"	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ведение картотеки личных листов 2. Ведение классификаторов-справочников 3. Табельный учет и контроль за списочным составом 4. Формирование выходного документа "Список трудящихся фабрики" 5. Формирование штатного расписания 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Заявление о приеме на работу 2. Общие сведения о трудящихся 3. Паспортные данные 4. Повышение квалификации 5. Сведения об отпускных и больничных листах 6. Записка об увольнении 7. Нарушения трудовой дисциплины и поощрения 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Списочные справки работающих: <ol style="list-style-type: none"> 1) по фамилии, имени, отчеству; 2) по подразделениям; 3) по образованию; 4) по специальности; 5) по стажу работы; 6) по участникам войны (ВОВ); 7) по отвлечениям на другие работы; 8) по воинам афганцам; 9) по работающим пенсионерам; 10) по нарушению трудовой дисциплины; 11) список вакантных должностей 2. Общие справки по работающим: <ol style="list-style-type: none"> 1) численность трудящихся; 2) численность трудящихся по подразделениям; 3) численность работников по специальностям; 4) текучесть кадров ; 5) штатное расписание
8	АРМ маркетолога	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение конъюнктуры рынка и перспективное планирование 2. Координация спроса и предложения товарной продукции 3. Контроль за поступлением оплаты за отгруженную продукцию 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Календарный план погрузки товарной продукции отправительными маршрутами 2. План отправки продуктов обогащения по договорам и заказам 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ведомость оплаты фабрикой железнодорожных перевозок за месяц нарастающим итогом с начала года 2. Ведомость подекадного учета перевозок в стоимостном выражении 3. Ведомость задолженности потребителей за каждые сутки 4. Реестр отправки концентрата за квартал
		<ol style="list-style-type: none"> 4. Учет и контроль за отгрузкой концентрата по договорам и заказам 5. Контроль за обеспечением перевозок транспортом 6. Формирование реестров задолженности 		

		потребителей-покупателей за товарную продукцию		
9	АРМ эколога	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ведение базы данных нормативной и текущей информации о ПДК, ПДВ 2. Обработка базы данных для выработки рекомендаций и принятия экологических решений 3. Расчет экологических параметров 4. Формирование отчетной документации во внешние системы 5. Статистическое моделирование и прогнозирование экологической ситуации 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нормативные данные о ПДК, ПДВ 2. Оперативные данные о выбросах вредных веществ в окружающую среду 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Расчет платежей за загрязнение окружающей природной среды 2. Отчет об образовании, использовании и обезвреживании токсичных веществ 3. Отчет о текущих затратах на охрану природы, экологических платежах, плате за природные ресурсы 4. Отчет о рекультивации земель, снятии и использовании плодородного слоя почвы 5. Отчет о затратах на использование научно-технических разработок и их эффективности 6. Отчет о поступлении и использовании промышленной собственности 7. Отчет об охране атмосферного воздуха 8. Отчет об использовании воды.
10	АРМ службы АСУ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сбор и обработка нормативной и справочной информации 2. Представление информации по запросу 3. Хранение информации 4. Формирование выходных документов 5. Восстановление системы и базы данных при сбоях 6. Обеспечение функционирования. 7. Контроль за работой пользователей 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Входная информация всех АРМов 2. Реализация всех функций АСОУ на АРМ службы АСУ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выходная информация всех АРМов при возникновении сбоев, аварийных ситуаций и при необходимости дублирования выходных документов всех подсистем 2. Инструкции пользователей всех АРМов системы

Концепция создания и структура локальной СЭЭМ ОФ. Обобщенная структурная схема синтезируемой системы экологического управления промышленными объектами загрязнения ОПС как большой и сложной интегрированной системы представлена на рис. 3.4. В состав системы входят подсистемы автоматизации учета, планирования, управления, мониторинга, контроля и диагностирования, а также планирования технологической схемы переработки бытового угля.

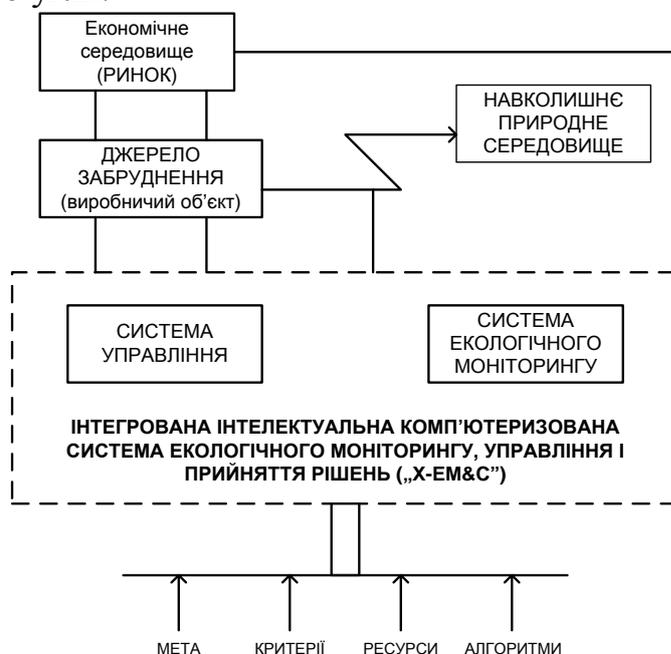


Рис. 3.4. Обобщенная структурная схема системы экологического управления источником загрязнения.

Для решения всех проблем в комплексе, поставленных в первом разделе данной работы, необходимо осуществить синтез ИАСУ логистической системы ОФ, приведенной на рис. 3.5. В разрабатываемой интегрированной системе учтены все основополагающие подсистемы логистической системы ОФ, а именно: автоматизированная система организационно-экономического и экологического управления с элементами искусственного интеллекта и на единой информационной базе, которая включает в свой состав подсистему менеджмента, подсистему экологического мониторинга и подсистему маркетинга; подсистему оперативного диспетчерского управления; производственно - транспортную подсистему, управляемые АСОДУ и АСУ ТП на базе гибридных (гибких) экспертных систем с нечеткой БЗ.

3.2. Синтез интегрированной автоматизированной системы организационно-экономического и экологического управления

Основным принципом, заложенным в основу разработки АСОЭ и ЭУ, является программно-техническая и информационная интеграция и интеллектуализация процессов принятия управленческих решений на базе современных информационных технологий и, в частности, локальной вычислительной сети АРМ.

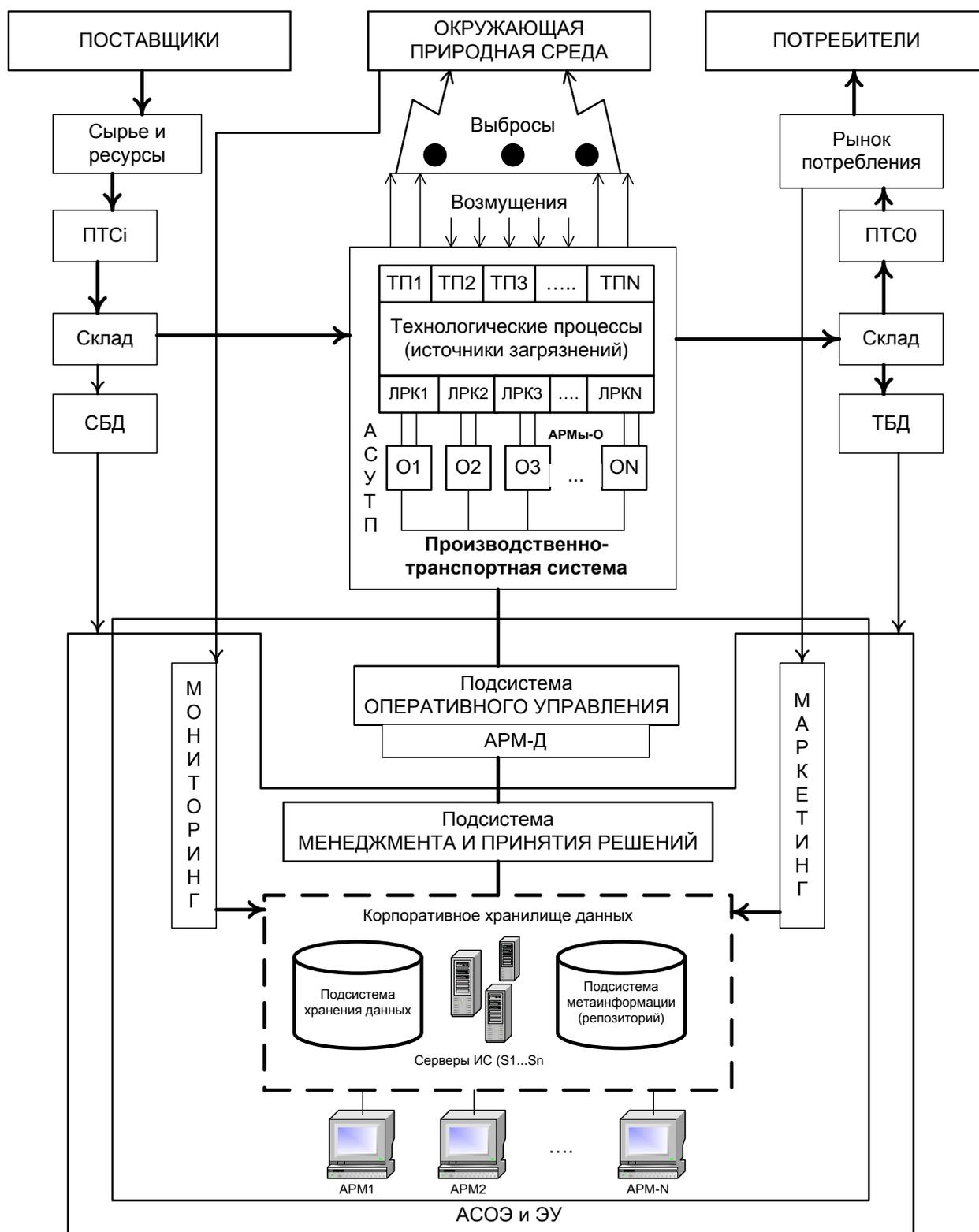


Рис. 3.5. Логистическая интегрированная система ЭЭМУ ОФ.

Обозначения на рис. 3.5: ТП — технологический процесс; ЛРК — локальное регулирование и контроль; О — оператор/технолог; АРМ — автоматизированное рабочее место; СБД — сырьевая база данных; ТБД — товарная база данных; ПТСi

— промтранспорт входного потока; ПТСо — промтранспорт выхода; — — материальный поток; — — информационно-управляющие каналы.

Системный экономический анализ и выработка управляющих воздействий по управлению углеобогатительной фабрикой многосторонни и сложны, предполагают обработку большого объема информации, требуют значительных трудовых затрат и времени. Кроме того, переход к рыночной экономике ужесточает требования к оперативности управления, ведет к структурным изменениям в информационных потоках как во внутренних, так и во внешних связях предприятия.

Повышение эффективности системы управления фабрикой на современном этапе невозможно без применения вычислительной техники на всех уровнях иерархии и с учетом внешних связей. Однако на действующих ОФ информационные и управленческие процессы осуществляются без должного учета экологических аспектов и широкого применения современных компьютерной техники и информационно - управленческих технологий.

Потоки информации в системе управления фабрикой не равномерны во времени. Наибольший объем первичной информации о результатах работы производства приходится на конец смен, на первую смену, конец и начало месяца. Обработка информации по основным задачам производится в центральных вычислительных центрах. Это приводит к разрыву информационных потоков, подготовке первичной информации одними работниками, передаче и вводу ее и обработке — другими. Затем документация с задержкой возвращается к потребителю, требует проверки, повторной обработки при возникновении ошибок, что значительно снижает оперативность анализа информации и ведет к неэффективному управлению ресурсами.

Значительные потоки информации, документации, формируемой ограниченным составом управленческого персонала, ведение большого количества журналов, дублирование информации в различных вспомогательных документах не позволяют осуществлять оперативный и компьютерный анализ работы предприятия и технико-экономическое и оперативно-производственное планирование. Проблема управления осложняется частыми изменениями нормативов, увеличением информационных связей с внешними организациями, изменением внешних структур, необходимостью адаптации эколого-экономической системы к нормативам в реальных условиях конкретной фабрики.

Критерием функционирования углеобогатительной фабрики является прибыль, определяющаяся состоянием и характеристиками используемых ресурсов: стоимостью сырья, затратами на оборудование, стоимостью энергоресурсов, материальными и трудовыми затратами. Этот ресурсный принцип положен в основу исследования организационной и функциональной структур обогатительной фабрики, ее документооборота и алгоритмов обработки информации.

Анализ задач административно-хозяйственной деятельности ОФ, основанный на экономических критериях, позволяет провести декомпозицию организационной структуры фабрики на отдельные подсистемы, адекватные следующим службам ОФ: производственной; планово-экономической; бухгалтерской; энергомеханической; сбыта и реализации продукции; экономической. Принципы больших систем дают возможность совместить функциональную структуру фабрики

со структурой интегрированной автоматизированной системы эколого-экономического управления, состоящих из автоматизированных рабочих мест на базе ПК, объединенных в информационно-вычислительную сеть. Функциональная структура АСОЭ и ЭУ ОФ представлена на рис. 3.6.

Применение ЛВС ПК позволит: автономное использование ПК при организации отдельных АРМ с замкнутым циклом обработки данных; информационный обмен между отдельными АРМ с помощью печатных документов; ввод данных, подготовленных на одном АРМ, с клавиатуры ПК и обработку на другом; информационный обмен между отдельными АРМ с помощью машинных накопителей (магнитных дискетов); информационный обмен между отдельными ПК и АРМ в автоматическом режиме и др.

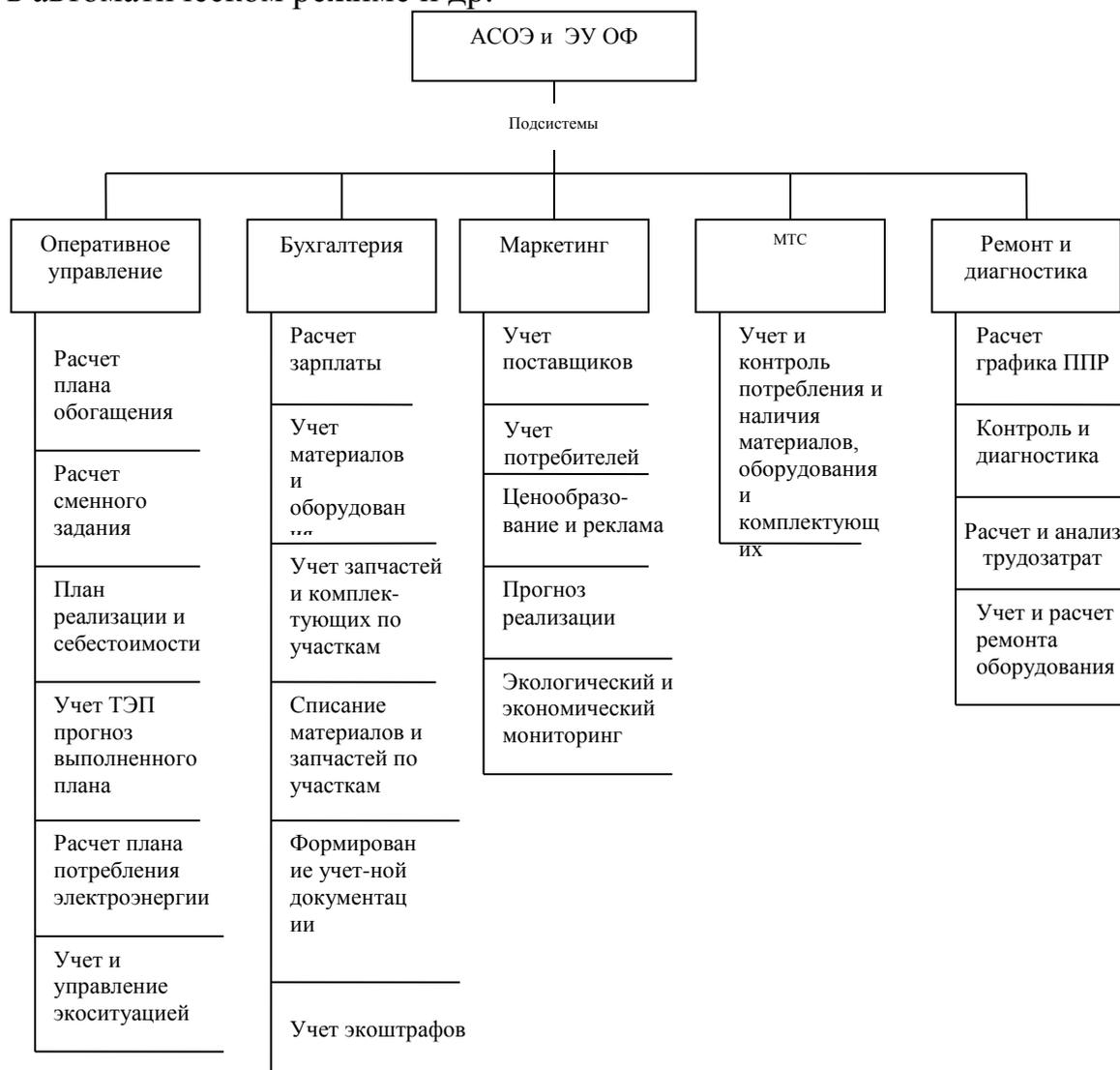


Рис. 3.6. Функциональная структура АСОЭ и ЭУ ОФ.

Характеристика выполняемых функций, входной и выходной информации всех АРМ АСОЭ и ЭУ приведена в табл.3.1.

Предложенная структура ЛВС АСОЭ и ЭУ предназначена в первую очередь для управления организационно-экономической (офисной) деятельностью ОФ, обеспечивает объединение отдельных, разрозненных вычислительных ресурсов в

интегрированное целое, позволяет получить качественно новую систему, в которой можно решать значительно более широкий класс задач.

ЛВС АСОЭ и ЭУ имеет своей целью обеспечение доступа к распределенным базам данных и к совокупным вычислительным ресурсам с любого рабочего места. Система рабочих станций базируется на ресурсах и сервисных средствах определенного сервера сети. В этом случае распределение сервисной службы и сетевые вычислительные ресурсы предоставляются более чем одной группе пользователей и находятся в распоряжении любого пользователя ОФ.

Так, выходная информация планово-экономической службы ОФ используется в АРМ директора и главного инженера фабрики для контроля основных показателей работы по поступлению угля, его переработке, выпуску и отгрузке концентрата.

Общая структура информационно-компьютеризованная сеть всей ИАСУ ОФ, согласно рис. 3.5, представлена на рис. 3.7.

Некоторые АРМ, представленные на рис. 3.7, в свое программное обеспечение включают соответствующие блоки принятия управленческих решений, т.е. имеют элементы интеллектуальности на основе ЭС.

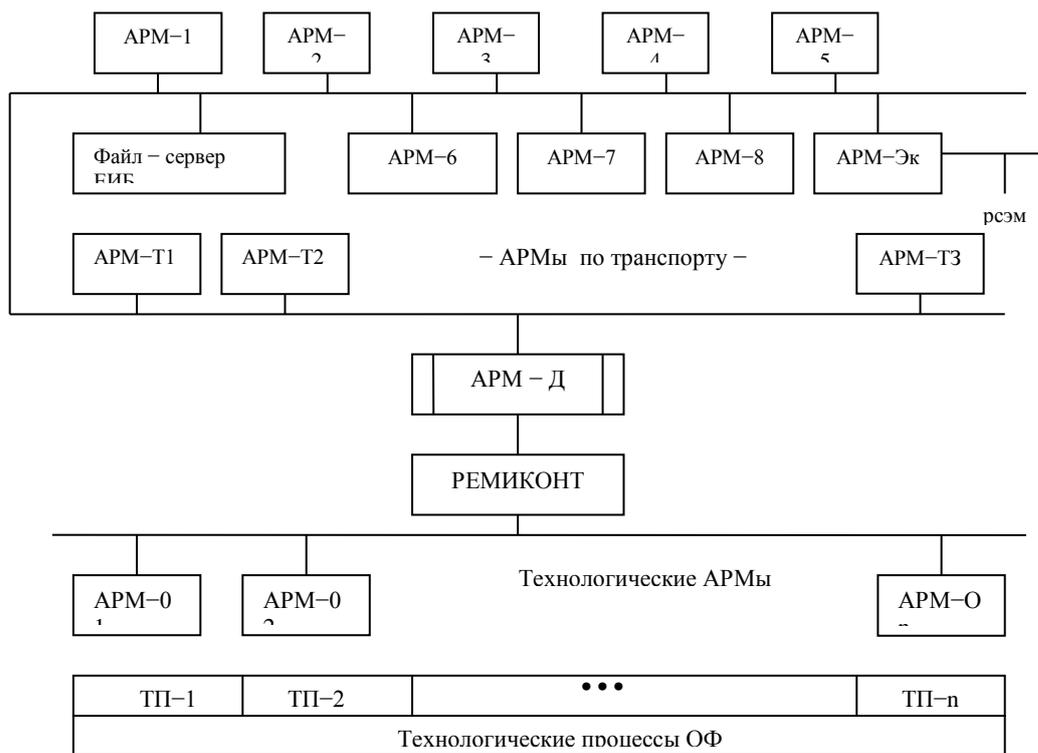


Рис. 3.7. Структура информационно-компьютерной сети АРМ интегрированной системы ЭЭМУ ОФ.

Используя машинный информационный обмен применяемой ЛВС ПК, администрация ОФ получает доступ к информационной базе любого АРМ вычислительной сети для своевременного анализа, контроля и управления предприятием, минуя традиционную бумажную технологию представления оперативной информации (ежесуточная сводка планово-экономической службы директору ОФ об основных показателях производственной деятельности). Бухгалтерская служба ОФ, в свою очередь, также связана в ЛВС планово-

экономической службы при определении величины себестоимости выпускаемой продукции по всем статьям затрат.

Основные требования к ЛВС АРМ ОФ представляют собой множество критериев и параметров, предъявляемых к аппаратной и программной платформам сети.

3.3. Автоматизация оперативного планирования и диспетчерского управления ПЭС

Целью оперативно-диспетчерского управления технологическими процессами ПТК ОФ как объекта с непрерывным и дискретно-непрерывным производством является обеспечение высококачественного и экологически чистого производства товарного продукта обогащения угля и безаварийного, ритмичного функционирования всего производственного цикла.

Автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления предназначена для координации работы технологических отделений и участков и функционирует как перед запуском фабрики в работу, так и в течение всего периода работы. Декомпозицию объекта оперативно-диспетчерского управления целесообразно поэтому выполнить по функционально-временному признаку. Обычно выделяют три подсистемы: координация работы технологических отделений и участков; запуск и останов поточно-транспортной системы и оборудования; координация режимов работы и показателей комплекса процессов обогащения (рис. 3.8).

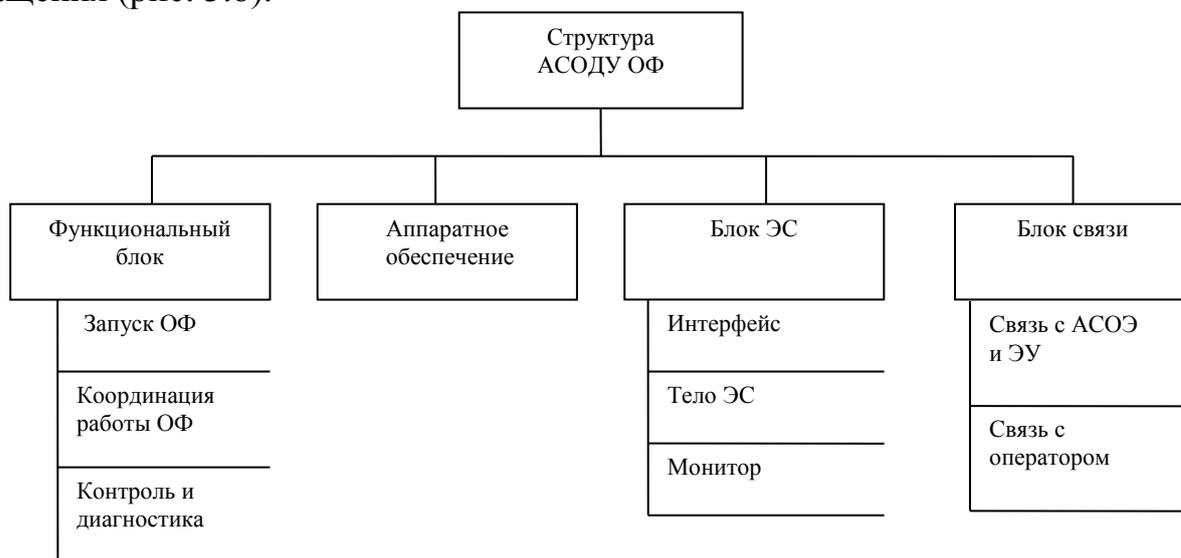


Рис.3.8. Структурная схема АСОДУ ОФ.

При использовании эколого-экономического управления фабрикой необходимо ввести подсистему контроля, диагностики и управления экологической ситуацией. Основные функции подсистем АСОДУ приведены в табл. 3.2.

Основные функции подсистем АСОДУ ОФ

N п/п	Наименование подсистемы	Основные функции
1	2	3
1	Координация работы технологических отделений и участков	1. Определение запасов рядовых углей в бункерах, на подъездных путях и на подходе к фабрике. 2. Определение запасов технической воды. 3. Состояние оборудования и энергосистемы. 4. Определение свободных емкостей в бункерах на погрузке, углеприме-углеподготовке.
		5. Определение нагрузки на фабрику и на отдельные процессы. 6. Выбор варианта шихты и определение времени непрерывной работы фабрики на этой шихте. 7. Контроль за состоянием оборудования, нагрузкой на фабрику, энергопотреблением, качеством и количеством продукции. 8. Формирование отчетной документации. 9. Контроль за выполнением сменных заданий.
2	Запуск и останов поточно-транспортной системы (ПТС) и оборудования	1. Выбор оборудования для работы. 2. Автоматический запуск ПТС и оборудования. 3. Координация работы операторов при запуске оборудования с мест. 4. Останов оборудования. 5. Диагностика состояния оборудования. 6. Сигнализация об аварийных и предаварийных ситуациях и принятие решений по предотвращению аварий.
3	Координация режимов работы и показателей комплекса процессов обогащения	1. Прогнозирование показателей обогащения. 2. Выбор оптимальных режимов обогащения. 3. Выбор режимов сгущения, обезвоживания и сушки. 4. Контроль за функционированием комплекса процессов обогащения. 5. Статистический учет результатов работы фабрики.
4	Контроль за экологической ситуацией	1. Контроль за выбросами вредных веществ в атмосферу. 2. Обнаружение, регистрация и представление сообщений об отклонениях экологических параметров от нормы. 3. Статистический учет выбросов вредных веществ в окружающую среду и анализ динамики выбросов. 4. Идентификация модели объекта управления (по экологическим параметрам). 5. Прогнозирование экологической ситуации. 6. Принятие решений по управлению производством с учетом экологической ситуации.

Основные функции подсистемы запуска и останова используются в переходных режимах (временной признак), а в течение работы фабрики осуществляется лишь диагностика состояния оборудования.

Управление группой машин и механизмов предусматривается с помощью микроконтроллеров, подключенных к общей магистральной линии. В эту же ЛВС должны подключаться микропроцессоры, управляющие отдельными технологическими процессами. Таким образом, создается общая база данных, используемых на всех уровнях управления, поскольку ЛВС верхнего и нижнего уровней объединяются в общую вычислительную сеть фабрики.

На первой стадии функционирования АСОДУ целесообразно предусмотреть информационно-справочный режим с отдельными фрагментами информационно-советующего класса. В дальнейшем необходимо довести систему до интеллектуального уровня, обеспечив, в частности, следующие функции: 1) автоматическое распознавание производственных ситуаций и формирование советов диспетчеру по управлению производством фабрики; 2) адаптация и обучение системы с целью расширения функций по идентификации ситуаций и автоматическое формирование управляющих воздействий; 3) программный запуск и останов технологического оборудования фабрики с автодиагностикой и прогнозированием состояния и идентификаций неисправностей; 4) автоматическая оптимизация комплекса процессов обогащения; 5) автоматическое формирование отчетной и статистической информации, анализ производственной деятельности и прогнозирование результатов работы.

Автоматизированное рабочее место диспетчера ПЭС (ОФ). Традиционные АСОДУ непрерывных производств построены на основе классических методов "жесткого" планирования и управления. Однако предлагаемая в данной работе общая концепция систем типа "X" также может и должна быть использована для разработки автоматизированного рабочего места диспетчера ОФ (АРМ-Д ОФ), основанного на ЭС с нечеткой базой знаний и современном техническом обеспечении. Структура, интерфейс и содержание АРМ диспетчера ОФ (рис. 3.9) реализованы по типовому АРМ.

Центральной проблемой здесь является извлечение знаний экспертов и формирование нечеткой БЗ, а в качестве механизма вывода здесь можно применить традиционные обобщенные правила вывода. В АРМ-Д ОФ учитывается также гибридность поля информационных ситуаций.

Автоматизация управление ТП промышленного предприятия непрерывного типа Подсистемы управления технологическими процессами нижнего уровня необходимо выделять по технологическому признаку. В соответствии с этим целесообразно создание подсистемы управления следующего назначения: углеприема-углеподготовки, комплекса процессов обогащения, погрузки, водно-шламовой системы, сушки. Структура управлениями технологиями фабрики приведена на рис.3.10.

Подсистема управления каждого из технологических процессов выполняет функции по координации управления, автодиагностики состояния, сигнализации, идентификации, прогнозированию. Управление технологическими процессами осуществляется системой автоматического управления, для чего выполняется декомпозиция технологических процессов по функциональному признаку.

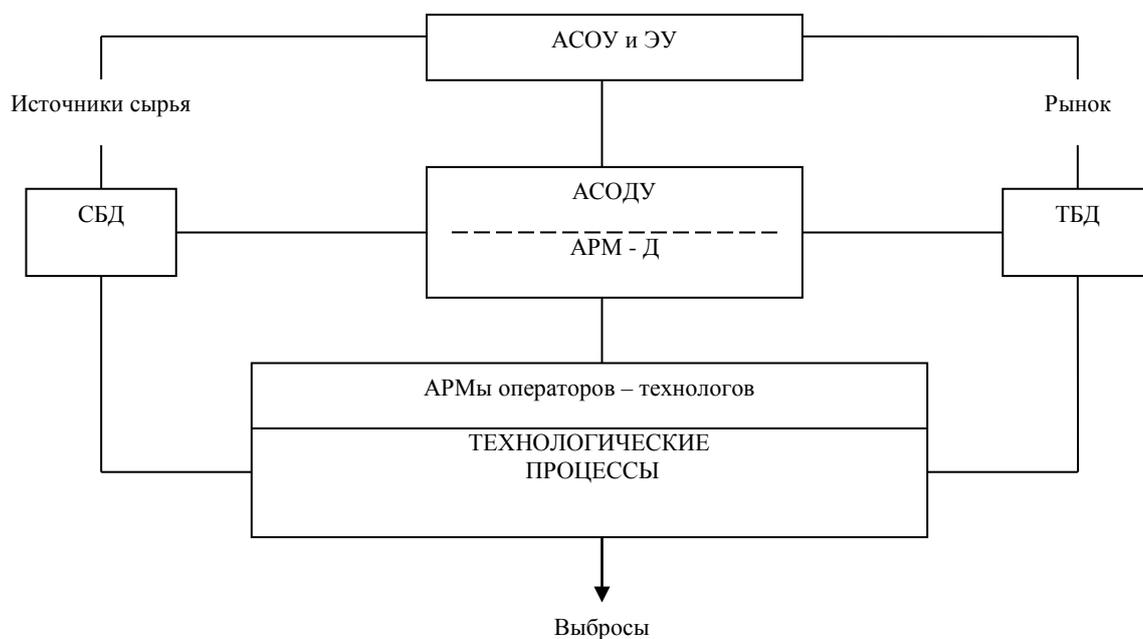


Рис 3.9. Автоматизированное рабочее место диспетчера ОФ.

При этом многие системы автоматического управления могут быть также двухуровневыми. К ним относятся системы автоматического управления процессами обогащения в различных аппаратах, сушка концентрата, его обезвоживание фильтрованием. Указание декомпозиции обусловлены тем, что сначала автоматизировались отдельные функции, обеспечивая стабилизацию режимных параметров, коррелированных с качеством конечных продуктов.

Так, в отсадочных машинах используется регулятор высоты породной постели, в тяжелосредних установках - регулятор плотности суспензии и т.д.

При автоматическом управлении качеством (зольностью, влажностью и т.п.), регуляторы режимных параметров функционируют как следящие системы, задающие воздействия которым формируются системой автоматического управления качеством.

Такое построение системы автоматического управления указанными процессами целесообразно из-за низкой надежности средств контроля влажности и зольности, при этом необходимо предусматривать автоматический переход на стабилизацию режимного параметра, т.е. в автономный режим стабилизации системы автоматического управления нижнего уровня. Для этого необходима идентификация ситуации, что может быть реализовано с помощью дополнительных датчиков контроля условий измерений.

Реальные системы управления технологиями, кроме того, должна предусматривать возможность интеллектуализации. Поэтому их технической базой АСУТП должны быть ПК, позволяющие создавать и использовать базы знаний.

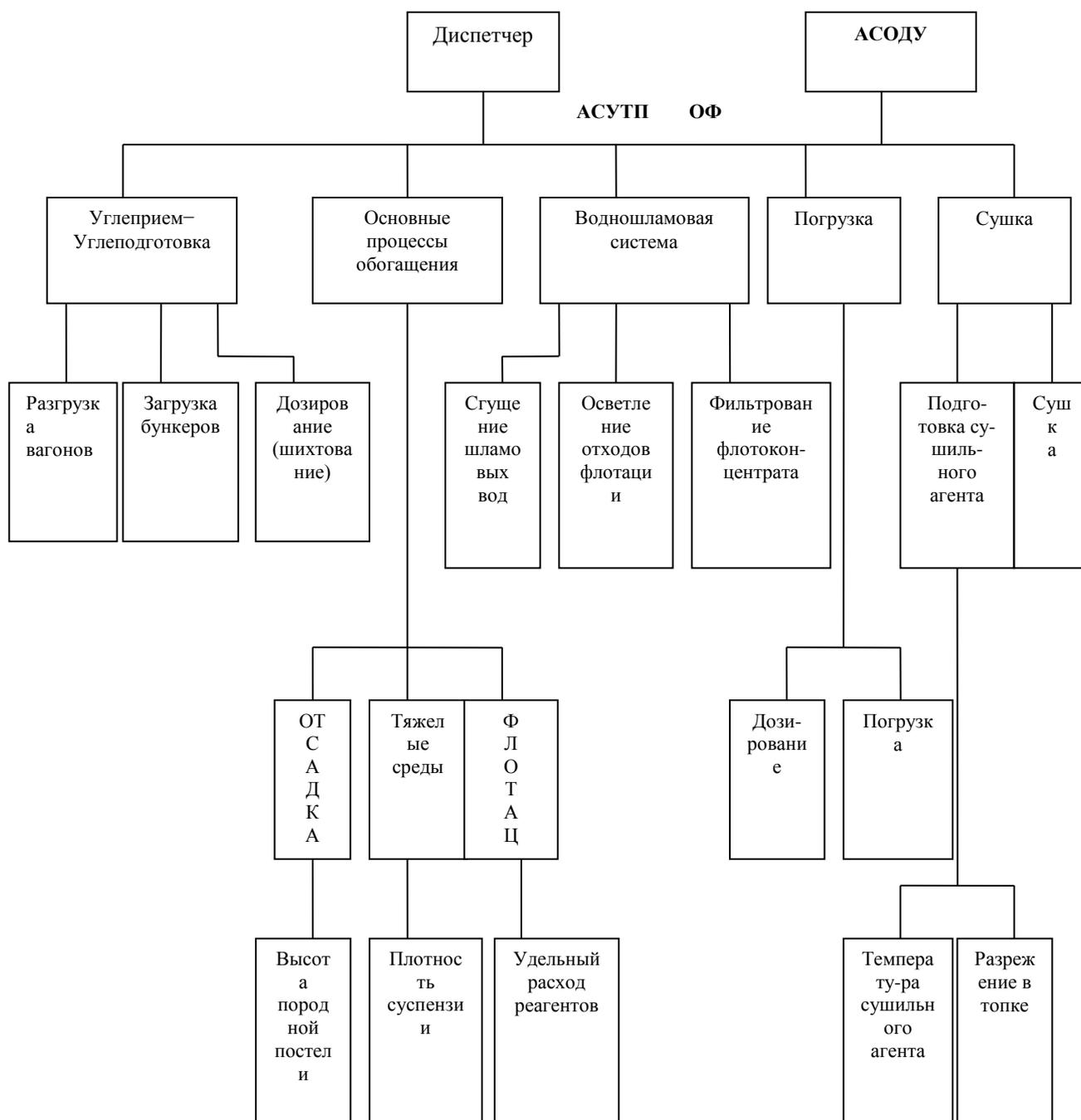


Рис. 3.10. Структура АСУТП ОФ

3.4. Интегрированная система эколого-экономического мониторинга, управления и принятия решений

Проблема совершенствования процессов оптимизации и управления природопользованием в Украине и других странах СНГ обусловлена экологическими трудностями экономических преобразований и роста, а также ухудшением природных условий воспроизводства трудовых ресурсов.

Экологическая ситуация в Луганской области также остается достаточно сложной. Например, в 1999 году стационарными источниками предприятий области

было выброшено в атмосферный воздух 445,36 тыс.т. загрязняющих веществ. Однако снижение объема выбросов произошло преимущественно в промышленных городах и районах области и обусловлено, в первую очередь, спадом производства. Наибольшее количество загрязняющих веществ выбрасывается в атмосферный воздух в городах: Луганск (134,91тыс.т), Алчевск (84,15тыс.т), Краснодон (40,9 тыс.т), Стаханов (36,05тыс.т), Лисичанск (20,98тыс.т), Красный Луч (17,8тыс.т).

Основными загрязнителями воздуха остаются предприятия энергетической, угольной и металлургической промышленности. Хотя их участие в общем количестве предприятий, которые загрязняют воздушный бассейн области, сравнительно незначительное (11%), тем не менее ими выбрасывается около 80% вредных веществ. Для улучшения состояния атмосферного воздуха необходимо: укрепление технологической дисциплины на промышленных предприятиях; гашение породных отвалов, как постоянно действующих источников загрязнения воздуха, их рекультивация и озеленение; обеспечение прогнозирования уровней загрязнения в период неблагоприятных метеорологических условий в городах с повышенным уровнем загрязнения, расширение (интеграция) и усовершенствование системы экологического мониторинга атмосферного воздуха; переход на экологически чистые виды транспорта, усовершенствование системы движения транзитного автотранспорта и др.

Для улучшения экологического состояния водных ресурсов Луганской области необходимо соблюдать режим хозяйственной деятельности в прибрежных защитных полосах, определить хозяйствующие субъекты с закреплением за ними контроля их использования, предоставлением в пользование специализированным организациям информации в соответствии с требованиями Водного кодекса Украины; заключить Бассейновое соглашение об общем использовании, воспроизведении и охране водных ресурсов бассейна р.Сев.Донец между облгосадминистрациями по согласованию с Министерством экологии и природных ресурсов Украины по вопросу государственного управления и использования воды в бассейне р. Сев.Донец; провести в необходимом объеме работы по расчистке русел рек области; коренным образом улучшить техническое состояние водного фонда и осуществлять необходимый уход за ним; провести инвентаризацию водоемов с целью определения их целесообразного количества; передать на баланс облводхозу или подчиненным им хозяйственным организациям водохранилища и большие ставки, которые не имеют хозяев. Для улучшения состояния и охраны земель, рационального использования лесных, растительных ресурсов и животного царства необходимо: сохранить площадь распахиваемости территории; охранять грунты от разрушения эрозией и других отрицательных процессов; не допускать отвода продуктивных земель для несельскохозяйственных потребностей; повышать производительность земель, которые находятся в сельскохозяйственном производстве, за счет внедрения научно обоснованных систем земледелия, прогрессивных технологий выращивания сельхозкультур; пересмотреть полномочия органов лесного хозяйства в вопросах осуществления государственного контроля и государственного регулирования ведения охотничьего хозяйства.

Ежегодно на предприятиях области вырабатывается более 12 млн т промышленных отходов. В настоящее время в организованных местах

складирования накоплено около 75 млн т токсичных отходов, в том числе 1-го и 2-го класса опасности – 50 тыс т В области насчитывается 530 породных отвалов, занятая им площадь – 2744 га с общим объемом складированной породы 588 млн м³. Не меньшую угрозу для окружающей среды области составляют и бытовые отходы.

В Луганской области предполагается закрытие 44 угольных шахт. Закрытие приводит к изменениям в окружающей среде, в особенности при невыполнении требований по ее охране с учетом геологических и других естественных условий. Для снижения отрицательных последствий ликвидации шахт необходимо: недопущение выхода шахтных вод на поверхность при водоотливе, устройство горизонтального дренажа, сбора, очищения и сброса шахтных вод в речную сеть; снижение опасности, связанной с проникновением шахтных газов на поверхность путем бурения дегазационных буровых скважин и организации газового контроля; устранение возможных последствий сдвигов земной поверхности, для чего провести обследование сооружений и зданий и разработать рекомендации по дальнейшей их эксплуатации.

Таким образом, к основным экологическим проблемам области, которые требуют первоочередного решения, относятся: улучшение экологического состояния бассейна реки Северский Донец, защита от загрязнения водозаборов централизованного снабжения питьевых подземных вод, улучшение качества питьевой воды; стабилизация и улучшение экологического состояния районов массового закрытия нерентабельных и неперспективных шахт, в первую очередь Стахановского и Краснодонского районов; решение проблемы сбора, утилизации и переработке отходов; создание системы экономических и налоговых льгот и условий с целью стимулирования работ по сбору, утилизации и переработки отходов; решение проблемы улучшения финансирования природоохранных мероприятий; усовершенствование системы взыскания сбора за загрязнение окружающей среды, платы за использование естественных ресурсов и финансирования природоохранных мероприятий

Таким образом, комплексное решение указанных экологических проблем актуальным является разработка и создание интегрированной эколого-экономической системы мониторинга, управления и принятия рациональных решений [7, 60, 71].

Заметим, что существующие системы мониторинга имеют ряд недостатков: отсутствие автоматизированных средств контроля приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе промышленных центров региона; как следствие запоздалое получение информации природопользователями и контролирующими организациями об изменении качества окружающей среды под воздействием антропогенных факторов и не применение этой информации для принятия решений по снижению воздействия; отсутствие необходимых условий для оперативного регулирования качества окружающей среды; высокая дискретность измерений на водных объектах; отсутствие методов идентификации источников загрязнения; устаревшие методы анализов и средства измерения; сокращение гидрологических станций и постов наблюдений не позволяет достоверно представлять информацию о гидрологическом и гидрохимическом состоянии водных объектов. Информация, которая может быть использована от действующей системы мониторинга,

следующая: режимная информация, характеризующая дозу воздействия на окружающую среду и человека; оперативная информация, характеризующая превышение ПДК по отдельным ингредиентам в выбранные промежутки времени; прогноз неблагоприятных метеорологических условий, при которых возможно повышенное загрязнение атмосферного воздуха в населенном пункте.

Информация, которая используется, – это: частично прогноз неблагоприятных метеорологических условий; режимная информация для оценки воздействия на окружающую среду в промышленных центрах при определении эффективности природоохранной деятельности на территории, величины концентраций загрязняющих веществ, выбрасываемых и сбрасываемых в природные среды, для контроля воздействия на природную среду.

Причинами слабого использования информации является: отсутствие информационных систем о свойствах среды, работающих в реальном времени; отсутствие строго контроля за деятельностью различных уровней в пирамидальной структуре управления качеством окружающей среды; недостаточный уровень подготовки кадров, занимающихся ведомственным, локальным и региональным контролем; отсутствие исполнения принципа “загрязнитель платит” в связи с отсутствием либо недоработкой некоторых юридических и нормативных актов по вопросу наказания за несанкционированное загрязнение окружающей среды и возмещение ущерба.

Для эффективного управления окружающей средой необходимо: восполнить нормативную и законодательную базу управления источниками загрязнения окружающей природной среды; создать эффективную информационную систему; создать эффективную систему подготовки специалистов в области управления окружающей средой; способствовать внедрению современных систем мониторинга всех сред окружающей природной среды и источников воздействия.

Компоненты и структура ИЭЭС. Реализация государственной политики в области охраны окружающей среды, обеспечения экологической безопасности и рационального использования природных ресурсов, ориентированной на принципы устойчивого развития страны в целом и отдельных ее регионов, требует применения эффективной системы управления процессом принятия эколого-экономических решений, в которой следует опираться на достоверную и своевременную информацию о природных средах, источниках антропогенного воздействия на них, существующих и возможных последствиях этих воздействий. Получение такой информации для принятия решений как на государственном, так и региональных уровнях управления должно обеспечиваться Единой государственной системой эколого-экономического мониторинга окружающей природной среды, природных ресурсов и антропогенных источников воздействия на них [108, 110].

Эколого-экономическое управление – сложная многоуровневая система отношений субъектов хозяйствования между собой и с вышестоящими органами. Связующим рычагом этих отношений должен стать *экологический аудит (ЭА)* – инструмент, включающий в себя организационно-экономические факторы защиты окружающей среды. Он позволяет выбрать оптимальный вариант природоохранных сооружений и мероприятий, организовать информационно-аналитический контроль за состоянием и степенью эксплуатации природоохранной техники, дать

экономическую оценку намечаемых технических и технологических усовершенствований. ЭА – независимое исследование всех аспектов хозяйственной деятельности промышленного предприятия любой формы собственности для установления размера прямого или косвенного воздействия на состояние окружающей среды. Его цель – приведение природоохранной деятельности в соответствие с требованиями законодательства и нормативных актов, оптимизация использования природных ресурсов, снижение и упорядочение энергопотребления, уменьшение отходов, предотвращение аварийных сбросов, выбросов и техногенных катастроф. Поскольку речь идет об исследовании всех аспектов хозяйственной деятельности предприятия, ЭА должен объединить и расширить программы и методики уже существующих видов аудита – производственного, финансовой деятельности. Результат ЭА будет содержать следующую информацию: выводы о соответствии природоохранной и производственной деятельности законодательству и нормативным актам; заключение о состоянии финансово-экономической отчетности, учета, своевременности и величине текущих экологических платежей, целенаправленности использования капитальных средств, выделенных на охрану окружающей среды; оценку воздействия исследуемого предприятия на состояние среды, здоровье производственного персонала, экологию в регионе, данные о наличии и величине выбросов (сбросов) загрязняющих веществ, производство которых ограничено или запрещено международными обязательствами государства; результаты анализа темпов роста производства продукции и количества выбросов и сбросов загрязняющих веществ, потребления энергетических и материальных ресурсов; результаты сравнительного анализа основных показателей природоохранной и производственной деятельности аудируемого предприятия и подобных предприятий в Украине и др. странах; оценку потенциальной опасности аудируемого предприятия при возникновении аварийной ситуации, эффективность разработанного плана работ по ликвидации очагов аварии, наличие необходимых материально-технических средств; заключение о профессиональной компетентности работников природоохранных служб предприятия, их обеспеченности современными техническими средствами контроля допустимых величин загрязнения; информированность руководящего и производственного персонала о величине и характере загрязнения окружающей среды их предприятием, наличие материального и морального стимулирования за снижение уровня загрязнения и энерго- и материалоемкости выпускаемой продукции.

По данным Всемирного банка, возможное повышение стоимости проектов, связанное с проведением оценки воздействия на среду и последующим учетом экологических ограничений, окупается в среднем за 5-7 лет. Включение экологических факторов в процедуру принятия решений еще на стадии проектирования обходится в 3-4 раза дешевле последующей установки дополнительного очистного оборудования, а затраты на ликвидацию последствий от использования неэкологической технологии и оборудования оказываются в 30-35 раз выше расходов, которые потребовались бы для разработки экологически чистой технологии и применения экологически совершенного оборудования.

Объективное исследование комплексного влияния эоаудируемого предприятия на состояние окружающей среды с учетом мнений всех

заинтересованных сторон поможет избежать дальнейшего усугубления эколого-экономического кризиса и определиться в методах учета экологического фактора при разработке стратегии и тактики хозяйственной деятельности. Это позволит повысить производственную безопасность предприятия, а следовательно, его инвестиционную привлекательность. Круг организаций, заинтересованных в объективном и комплексном исследовании хозяйственной деятельности промышленных предприятий и ее влияния на окружающую среду, достаточно широк. Экологические проблемы актуальны для *банковских институтов*. Финансовый риск, напрямую связанный с риском экологическим, может возникнуть в результате крупных аварий и загрязнения среды, а также в связи с неучтенными ранее экологическими требованиями. Например, при обнаружении загрязненности земля значительно обесценивается и банки-кредиторы могут лишиться гарантий кредита. К тому же при финансировании банком экологически опасных проектов страдает его репутация.

ЭА может и должен стать основой для становления и развития *экологического предпринимательства*, к сфере которого следует отнести следующие направления хозяйственной и социальной деятельности: разработку и внедрение ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий; производство средозащитной техники и приборов для контроля и повышения качества окружающей среды; производство экологически благоприятных потребительских товаров; использование вторичных ресурсов; использование рекреационных ресурсов; оказание экологических услуг (экологический мониторинг, аудирование, страхование, воспитание, просвещение и образование). Зарубежный опыт показывает, что при помощи экологических фирм многие предприятия решили проблемы утилизации, превратив отходы в сырье для других отраслей, нашли более эффективные методы их очистки и переработки. Ежегодно в мире такие фирмы оказывают услуги на 200-230 млрд долл., причем этот показатель имеет устойчивую тенденцию к росту (на 4-15% ежегодно в зависимости от видов предоставляемых услуг).

Объективные результаты комплексного исследования необходимы при заключении договоров по *страхованию экологического риска* и ответственности производителя и потребителя, для определения экологической надежности предприятия и величины риска возникновения аварийных ситуаций.

Целью создания системы обязательного и добровольного экологического страхования потенциально опасных объектов является компенсация убытка, который несут третьи лица и сам страхователь в результате аварийного загрязнения окружающей природной среды, а также стимулирование предотвращения аварий у страхователя, достигаемое за счет уменьшения издержек на проведение противоаварийных работ за счет страховщика.

Уникальную возможность улучшить экологические характеристики большого числа субъектов производственной деятельности и целых секторов экономики дает *приватизация*. Она позволяет, в частности, разрешить противоречия, возникающие в тех случаях, когда государство одновременно выполняет функции по экологическому регулированию и выступает в качестве владельца регулируемых предприятий. Приватизационная политика наряду с такими традиционными

задачами, как получение доходов от продажи предприятий, их модернизация новым владельцем, обеспечение занятости, содействие региональному экономическому развитию, поступление налоговых платежей, должна включать также совершенствование природоохранной деятельности и рациональное природопользование. Экологические аспекты необходимо адекватно отражать в законодательных и нормативных актах по приватизации и иностранным инвестициям. В условиях ускоренной приватизации, с одной стороны, возникает опасность игнорирования природоохранных проблем, с другой – установление чрезмерно строгих ограничений в интересах охраны окружающей среды может стать сдерживающим фактором для потенциальных инвесторов в случае приобретения экологически опасных предприятий. Эти проблемы в разных странах с переходной экономикой решаются по-разному.

Представляется, однако, что прямое использование зарубежного опыта в этой области в условиях Украины без учета особенностей ее социально-экономической и экологической ситуации может лишь усугубить эколого-экономический кризис. Дело осложняется тем, что прямое введение в практику классических методов экономического управления природопользованием, характерных для развитых рыночных систем, даст недостаточный, а в некоторых случаях и обратный эффект. Так, при прямом директивном внедрении принципа "загрязнитель платит" в переходный период, когда энергетическая, нефтехимическая, металлургическая и другие загрязняющие отрасли промышленности высокомонополизированы, бремя платежей за загрязнение легко переносится на плечи потребителей. Кроме того, не только возрастет стоимость улучшения или поддержания качества окружающей среды, но и сократится производство товарной продукции, от реализации которой поступают платежи в природоохранные фонды. К тому же, по данным западных специалистов, в странах ЕС 63% расходов на борьбу с загрязнениями обеспечивает частный сектор экономики, государственный сектор тратит примерно 21%, а потребители – 16%.

Учет экологического фактора при приватизации должен разрешить противоречие, заключающееся в необходимости совершенствования природоохранной деятельности при недопущении неприемлемых для будущих владельцев расходов. Основным направлением стабильной деятельности предприятия в постприватизационный период является организация производства конкурентоспособной продукции и повышение ее рентабельности. Учет экологического фактора в процессе приватизации промышленных предприятий может не только содействовать улучшению экологических параметров большого числа субъектов производственной деятельности и снижению непосильной для окружающей среды техногенной нагрузки, но и общему оздоровлению экономики.

Деградация природно-ресурсного потенциала вызывает необходимость наращивания затрат для рационализации управления природопользованием. В силу этого большое значение приобретает применение *экологического менеджмента (ЭМе)*.

Например, при имеющемся в регионе дефиците водных ресурсов (его можно рассматривать как по количественным, так и по качественным показателям) следует сформировать новые подходы к решению проблем их использования и охраны. Все

более целесообразным становится объединение этих двух аспектов в единое *экологическое* водопользование. Это позволит оптимизировать управление в едином технологическом процессе воспроизводства водных ресурсов (забор, транспортирование, распределение, потребление, отведение, хранение и очищение воды) с учетом экологических требований и ограничений, т.е. с ориентацией на устранение причин экологических нарушений. Переориентация приоритетов водопользования на той или иной территории с потребительского аспекта на экологическое соответствует функции воды как средства и условия оптимального функционирования всей экосистемы данного водного бассейна и экологически безопасного жизнеобитания. Экологическое водопользование становится не целью, а средством водохозяйственной деятельности в решении проблем надежного водообеспечения и природообустройства хозяйствующих субъектов, защиты водных ресурсов от загрязнения и истощения. Оно представляет собой водохозяйственную деятельность, основанную на принципе целостного подхода к использованию водных, а также земельных, биологических, материальных и других ресурсов в пределах водосборного бассейна (ландшафта, государственных границ), и ориентацию на упреждение загрязнения водных экосистем.

В условиях безотлагательности проведения экологически ориентированной структурной перестройки экономики требуется введение природопользования в сферу формирующихся рыночных отношений. Для этого необходимо усовершенствовать общую модель управления природопользованием. Главной ее целью, как известно, является удовлетворение потребностей в тех видах продукции и услуг, которые имеют непосредственное отношение к природной среде. Можно выделить следующие важнейшие *принципы* экономико-экологического управления: *интегральность территориальной системы; первичность функции управления природопользованием; взаимодействие (синергетичность); иерархичность, многокритериальность.*

Одним из важных признаков развитой рыночной экономики является соответствующая *инфраструктура*. К ее элементам в сфере природопользования, в частности, относятся экологический маркетинг и экологический аудит. *Экологический маркетинг (ЭМа)* включает комплексную деятельность, направленную на определение, прогнозирование и формирование потребительских запросов по поводу воспроизводства природных ресурсов, продвижения товаров и услуг экологического назначения от производителя к потребителю.

Под *ЭМ* понимается организация охраны окружающей среды во всей ее совокупности (при поставке и расходе природных ресурсов, энергии и сырья, при осуществлении технологического процесса, при выпуске, сбыте и транспортировке продукции, при утилизации отходов производства всех видов от промышленных выбросов до упаковочных материалов). Использование данного механизма позволяет снизить степень воздействия на окружающую среду; выявить потенциал экономии ресурсов (сырья, всех видов энергии и воды), включения в производственный оборот отходов и снижения себестоимости продукции; обеспечить хорошую репутацию; получать более выгодные кредиты в банках; заключать договора о страховании на более выгодных условиях, т.е. улучшать свои

шансы в обстановке жесткой конкуренции. Поэтому участие в системе экологического менеджмента превращается в реальную необходимость.

Экологический менеджмент учитывает социальные, политические, экономические факторы, а также экстренно-ситуационные, т.е. стохастические явления, в силу их конечного влияния на целостность и экономическое благополучие природной среды. При этом обозначается отход от прежней регулирующей тактики, от концентрации внимания на локальных проблемах загрязнения, от игнорирования воздействия землепользования на водную среду. В этом плане появляется необходимость нового уровня понимания проблемы *экологического водопользования* и ответственности за решение сложных и взаимосвязанных проблем в водохозяйственной деятельности. Важной становится координация многих процессов природопользования, особенно землепользования и водохозяйственной деятельности, в пределах водного бассейна.

Концептуальные основы экологического водопользования направлены на экологизацию использования водных, земельных, биологических и геодендральных ресурсов, в первую очередь на уменьшение и упреждение загрязнения, истощения и деградации водных объектов в процессе забора воды из источников, ее транспортирования, регулирования ее объемов по территории и времени, подачи ее потребителям, водопользования, водоотведения и водообустройства пространств и территорий. Суть экологизации заключается в формировании и коррекции вещественно-энергетических, социально ценностных и информационных потоков исходя из экологических ограничений и требований.

Интегрированная эколого-экономическая система представлена на рисунке 3.11.

Таким образом, представленная интегрированная система и стратегия управления экологическим природопользованием в условиях переходной экономики и рыночных отношений базируется на экологическом мониторинге, менеджменте и включает в себя такие элементы инфраструктуры, как экологический маркетинг и экологический аудит.

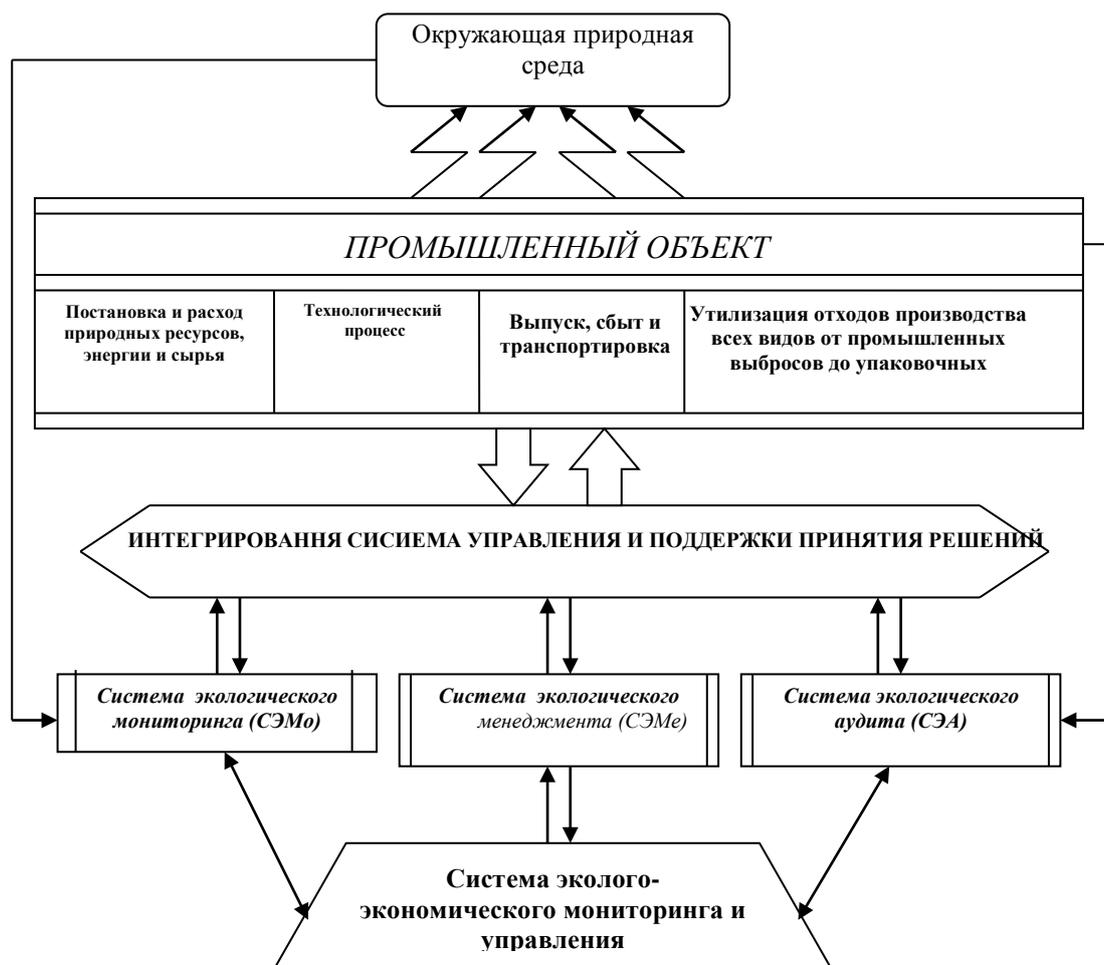


Рис. 3.11. Интегрированная эколого-экономическая система

3.5. Интеллектуальное управление в ИАСУ ПЭС в условиях смешанной неопределенности

Степень сложности системы управления и принятия решений зависит от уровня информационной определенности, а ее качество выше при учете смешанной информационной неопределенности: стохастической (I_c), множественной (I_m) и нечеткой (I_n).

Пусть структура системы экологического управления ОФ в случае смешанной информационной неопределенности имеет вид как представлено на рис. 3.12

Тогда модель ТП (ОУ) можно представить как $F_0: U \times W \rightarrow X$, а измерительных каналов в виде:

$$F\{C1\}: X \times V_x \rightarrow Y, F\{C2\}: C \times V_c \rightarrow \tilde{C},$$

где X – пространство состояний, Y – пространство выходных переменных ТП, U – множество всех допустимых управлений, C, \tilde{C} – множества выбросов и их измерений соответственно, W, V_x, V_c – соответствующие множества возмущений и помех измерений, причем $I_c = \{p(w), p(v_x), p(v_c)\}$ – информационное поле стохастической неопределенности; $I_m = \{w \in W, v_x \in V_x, v_c \in V_c\}$ – информационное

поле множественной неопределенности; $I_n = \{\mu_{X_0}, \mu_{V_0}, \mu_{G^*}\}$ – нечеткое информационное поле.

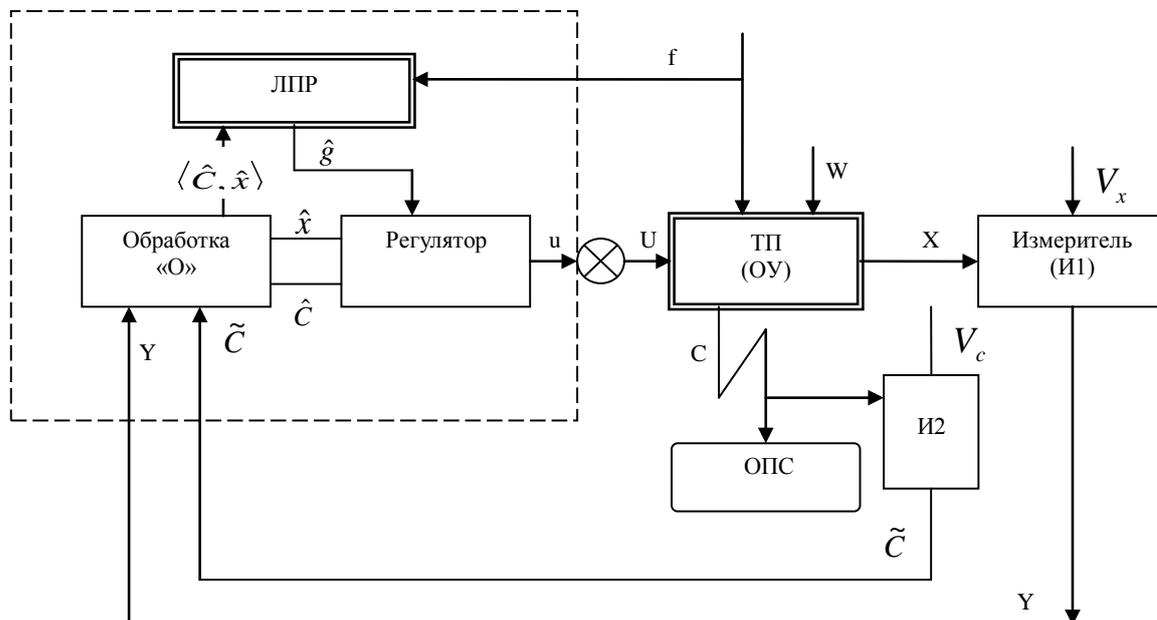


Рис. 3.12. Структура системы экологического управления в условиях смешанной информационной неопределенности

Смешанную информационную неопределенность теперь можно описать в виде кортежа: $I_0 = \langle I_C, I_M, I_n \rangle$. При этом единая база данных и знаний ИАСУ ОФ состоит из объединения 3-х баз (B_0, B_1, B_2) всех уровней иерархии $I = \langle B_0, B_1, B_2 \rangle$, с учетом возможной информационной неопределенности.

Заметим, что на рис. 3.12 $g \in G^*, G^*$ – множество возможных и нечетких заданий, $X \supset X_0$ – нечеткое множество целей, $U \supset U_0$ – нечеткое множество ограничений на управляющий вектор, а $C \subset C^*$ – множество параметров ПДВ.

В качестве функций принадлежности $\mu_{X_0}, \mu_{V_0}, \mu_{G^*}$ и др. здесь приняты функции со свойствами "гауссовости", т.е. функции вида:

$$\mu_{\Omega}(\omega) = \exp(-\omega^T R \omega), \mu_{\Omega}(0) = 1, \lim_{\|\omega\| \rightarrow 0} \mu_{\Omega}(\omega) = 0.$$

Таким образом, в условиях смешанной неопределенности задача экологического управления и принятия решения сводится к решению следующей задачи оптимальности:

$$u = \arg \max M_w \{ \mu_d(x, w) \} \equiv \arg \max_{u \in U} M_w \{ \mu_{X_0}(F0(u, w)) * \mu_{V_0}(u) * \mu_{G^*}(g) \} \quad \text{при } C \in C^*.$$

Здесь M_w – символ математического ожидания (усреднения), а $*$ – символ композиции(слияния).

На рис. 3.12 также приняты обозначения: $U = [u, r + \varepsilon_{лпр}]$ – принятое решение ЛПР, где r – уточнение управления u , $\varepsilon_{лпр}$ – ошибка ЛПР; x и C – оценки, полученные после обработки "О", f – контролируемое ЛПР воздействие на ТП.

В данном пункте рассмотрены наиболее приемлемые варианты экологического моделирования и управления ТП при нечеткой информационной обстановке.

Логико-лингвистическое описание. Рассмотрим описание функционирования некоторого сложного объекта (технологического процесса ОФ) в нечеткой обстановке.

Пусть имеются множества информативных входных параметров $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ (т.е. множество входных лингвистических переменных (ЛП) $\{X_j\}$) и множества выходных параметров $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ (т.е. множество ЛП $\{Y_k\}$) объекта, причем $\forall X_j, j \in J = (1, 2, \dots, m)$ определено терм-множество $A_j = \{a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{pj}\}$, $j \in J$ и $\forall Y_k, k \in K = (1, 2, \dots, n)$ определено терм-множество $B_k = \{b_{1k}, b_{2k}, \dots, b_{qk}\}$. Для каждого значения (терма) $a_{ij} \in A_j$ соответствует нечеткое подмножество \tilde{A}_{ij} со своей функцией принадлежности (ФП) $\mu_{\tilde{A}_{ij}}(X) \in \mathbf{F}(X_j)$, а $\forall b_{ik} \in B_k$ – нечеткое подмножество \tilde{B}_{ik} , где $\mathbf{F}(X_j)$ и $\mathbf{F}(Y_k)$ – класс (алгебра) нечетких множеств, определенных на базовых множествах X_j и Y_k [12, 13, 24, 26-33].

Если рассматривается технологический процесс углеобогащения, то, например, X_j – это величина зольности исходного угля (ЗИУ), $A_j = \{\text{сверхбольшая, большая, средняя, малая, очень малая}\}$, $X_j = 10 \dots 90$ (%), т.е. a_{1j} = "сверхбольшая", a_{2j} = "большая" и т.д.

Качественное описание ТП в терминах значений ЛП типа:

Если a_{11}, \dots, a_{1m} , ТО b_{11}, \dots, b_{1n} ИНАЧЕ,

.....

Если a_{p1}, \dots, a_{pm} , ТО b_{q1}, \dots, b_{qn} ИНАЧЕ

называют схемой нечетких рассуждений.

Например, одно из правил имеет вид:

ЕСЛИ ЗИУ = <очень малая>, ТО зольность концентрата = <невысока>

Обозначим через

$$A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_m, \text{ и } B = B_1 \times B_2 \times \dots \times B_n,$$

т.е. A и B – множества соответствующих упорядоченных наборов терм-множеств.

Тогда поведение объекта (ТП) характеризуется отображением $F: A \rightarrow B$ (на языке терм-множеств), или некоторое отображение

$$\tilde{F}: \mathbf{F}(X_1 \times X_2 \times \dots \times X_m) \rightarrow \mathbf{F}(Y_1 \times \dots \times Y_n),$$

которое может быть получено как нечеткое соответствие для всех

$$\mu_{\tilde{A}_{ij}}(X) \in \mathbf{F}(X_j), \mu_{\tilde{B}_{ik}}(Y) \in \mathbf{F}(Y_k), \tilde{F}: \bigcup_{i \in I} (\mu_{\tilde{A}_i} \times \mu_{\tilde{B}_i}),$$

где $\mu_{\tilde{A}_i} = \bigvee_{j \in J} \mu_{\tilde{A}_{ij}}$, $\mu_{\tilde{B}_i} = \bigwedge_{k \in K} \mu_{\tilde{B}_{ik}}$.

Если теперь определить нечеткое отношение

$$R = \{\mu_R(x, y) | (x, y) \in X \times Y\},$$

то для определения некоторого выходного параметра B_i ТП нужно определить композицию нечеткого подмножества A_i , действующего на входе ТП, и отношение R , т.е. $\mu_{\tilde{B}_i}(Y) = \mu_{\tilde{A}_i}(X) \circ R(X, Y)$. Например, на языке "И-ИЛИ" имеем

$$\mu_{\tilde{B}_i}(Y) = \bigvee_{x \in X} \{\mu_{\tilde{A}_i}(X) \wedge \mu_R(X, Y)\} = \max_{x \in X} \min \{\mu_{\tilde{A}_i}(X), \mu_R(X, Y)\}.$$

Это и есть алгоритм нечеткого вывода в данном случае.

Общий алгоритм нечеткого моделирования. Алгоритм нечеткого моделирования технологического процесса можно представить в виде:

1. Выделение основных технологических (системных) параметров: входных (x), управляющих (u), выходных (y), возмущающих (w).

2. Определение (формирование) лингвистических переменных (ЛП), т.е. их наименования, терм-множества и носителей соответствующих термам нечетких множеств (НМ), а также их универсальные множества для основных технологических параметров:

Наименование ЛП для параметра ТП	Термы	Носитель соотв. НМ	Универсум
Зольность концентрата	Низкая	[]	[]
	Средняя	[]	
	Высокая	[]	
...

$$A \text{ ————— } T_i^A$$

3. Формирование базы правил:

(j) ЕСЛИ $\underbrace{A = T_i^A}_{antec_j}$, ТО $\underbrace{B = T_k^B}_{conveg_k}$,

где j – номер продукции, причем каждой продукции можно приписать кортеж (j , СИ, <автор>, <дата>, <объяснение>),

где СИ – степень истинности правила: СИ $\in [0,1]$; <автор> – идентификатор эксперта - автора правила; <дата> – дата ввода правила в БЗ;

<объяснение> – текст авторского объяснения правила.

Заметим, что

$$antec_j \triangleq A_{i1} \wedge A_{i2} \wedge \dots \wedge A_{ip}, \quad conveg_k \triangleq B_{k1} \wedge B_{k2} \wedge \dots \wedge B_{kq}.$$

4. Формирование матрицы нечетких отношений:

$$R_s = \int_{A \times B} \mu_{R_s}(a, b) | (a, b), \quad S = \overline{1, n}.$$

5. Объединение этих матриц: $R = \bigcup_{S=1}^n R_s$, где $\mu_R(a, b) = \max(\mu_{R_1}, \dots, \mu_{R_n})$.

6. Организация логического вывода (ЛВ) по некоторой схеме, например, по правилу *modus ponens*, т.е. композиционное правило Л.Заде [12, 13, 24].

Отметим, что хотя существуют и другие правила композиции [14], данный вариант является наиболее удобным в применении и реализации.

Система интеллектуального управления. Объекты и процессы в углеобогащительной технологии относятся к сложным производственно-транспортным системам, которым характерны нестационарности, нелинейности, многосвязности, существенные запаздывания в потоках и неопределенности в условиях принятия различных решений.

Рассмотрим в качестве примера построение и использование интеллектуальной системы управления процессом флотации, который определяется следующими параметрами:

- возмущающие параметры – качественные показатели сырья;
- управляющие параметры – режимные параметры, расход сырья и реагентов;
- оцениваемые (выходные) переменные – выход и качество выходного товарного продукта;
- экологические параметры.

Целью управления процессом флотации является: при заданных возмущениях необходимо определить такие значения управляющих переменных, которые обеспечат желаемые значения выхода товарного продукта, его качества при минимальных значениях выбросов-загрязнителей в ОС.

В настоящее время процесс флотации частично автоматизирован: на нижнем уровне осуществляется автоматическое управление подачей реагентов собирателя и пенообразователя на входе во флотомашину (ФМ) и иногда автоматическая стабилизация уровней в ваннах ФМ.

В функции оператора ФМ входит пуск, останов процесса, диагностика состояния, контроль качества работы и др. Для автоматизации указанных функций предпочтительнее использование экспертной системы с нечеткой базой знаний (НЭС). НЭС осуществляет преобразование входной информации в выходную по алгоритму: $Y=L\{U,F,X\}$, где $Y=\{Y_u, Y_v\}$ – вектор выходных сигналов (Y_u, Y_v – соответственно векторы выходных сигналов, доступных измерению и воспринимаемых органами чувств человека); $U=\{U_p, U_y, U_k, U_0\}$ – вектор управляющих воздействий (U_p, U_y, U_k, U_0) – соответственно векторы управления, генерируемые человеком, для регулирования процесса, дискретного управления и коррекции сигнала управления регулятора, а также вектор управления, генерируемый системой автоматического управления; $F=\{F_u, F_v\}$ – вектор возмущающих воздействий с компонентами: F_u – вектор, измеряемый датчиками, и F_v – воспринимаемый органами чувств человека; $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ – вектор состояния объекта управления.

На рис. 3.13 приведена схема данной гибридной НЭС, в которой общее управление осуществляется при помощи репродуктивно - преобразующей машины, а управление качеством – при помощи автоматических регуляторов и ЭС, построенной на основе нечетких множеств.

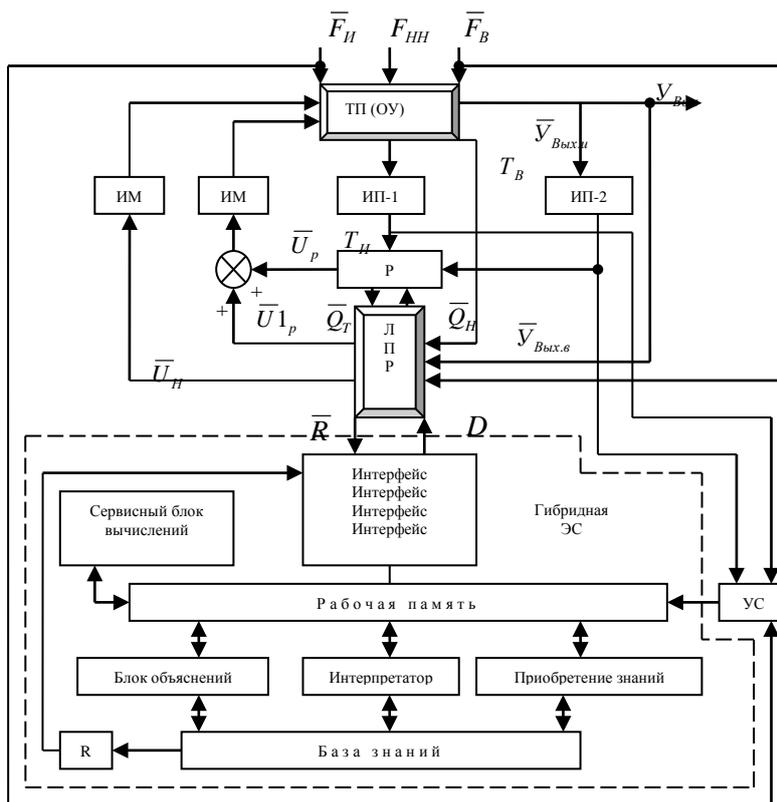


Рис. 3.13. Гибридная экспертная система управления и принятия решений.

Обозначения: $P_{и}$ –измеряемый вектор шума; $P_{в}$ –воспринимаемый человеком (Ч) вектор шума; F_{HH} –неизмеряемый и невоспринимаемый вектор шума; $T_{и}$ –множество измеряемых векторов состояния ОУ (составляющие векторов являются признаками производственных ситуаций); $T_{в}$ –множество воспринимаемых Ч векторов состояний ОУ; D –вектор данных о состоянии ОУ, передаваемых человеком ЭС; R –вектор рекомендаций, генерируемый ЭС; $U_{вых}$ –множество векторов выхода ОУ, причем $U_{вых.и}$ –измеряемый датчиками вектор, а $U_{вых.в}$ –воспринимаемый человеком вектор данных; $Q_{т}$ –вектор текущих значений параметров регулятора; $Q_{н}$ –вектор коррекции параметров регулятора, задаваемых Ч; $U_{р}$ –вектор управляющих воздействий, генерируемый регулятором; $U_{1р}$ –вектор аддитивных коррекций управляющего воздействия, генерируемого регулятором; $U_{ч}$ –вектор управляющих воздействий, генерируемых Ч; УСО –устройства связи с ОУ; R –вывод (решение).

При разработке НЭС управления процессом флотации в целом необходимо учесть следующие требования:

1. Соблюдение принципов поведения живого организма, в частности:
 - 1.1. Обеспечивать распараллеливание информационных потоков.
 - 1.2. Компенсировать изменение параметров внешней и внутренней сред.
 - 1.3. Осуществлять контроль параметров объекта человеком и средствами автоматики и контроль технических средств человеком.
 - 1.4. Обеспечивать адаптацию управляющей части ЭС к изменению параметров внешней и внутренней сред и самой системы.

2. Обеспечение структурно-функциональной организации ЭС:

2.1. Блочную организацию ЭС.

2.2. Приоритет лица, принимающего решение в управлении.

2.3. Формирование управляющего воздействия, адекватного возмущению.

2.4. Максимальная автоматизация функций управления, минимизация времени общения человека с ЭВМ, повышение качества управления.

3. Возможность реализации системы:

3.1. Грубость функциональных свойств (настройки параметров и построение базы знаний).

3.2. Адекватность функциональных свойств оператора и ЭВМ, а также критериев оценки операторской деятельности и ЭС.

3.3. Подготовка человека к операторской деятельности.

При построении ЭС процесса флотации в целом использован следующий подход. ЭС имеет базу знаний (БЗ), хранящей множество продукций о процессе (рис. 3.13). Блок приобретения знаний объединяет вновь вводимые продукции с уже существующей БЗ. Лингвистический процессор преобразует входные данные, представленные на ограниченном естественном языке, в представление на внутреннем языке системы; преобразует сообщения системы, выраженные на внутреннем языке, в сообщения на ограниченном естественном языке.

Интерпретатор на основе входных данных формирует решение задачи. Объяснительный блок сообщает: 1) как правило, используют информацию ЛПР; 2) почему использовались (не использовались) данные правила; 3) какие были сделаны выводы. Все объяснения даются на ограниченном естественном языке. Рабочая память хранит данные о ходе процесса. ЭВМ обеспечивает дружественный интерфейс между человеком - оператором и множеством информации о ходе процесса флотации в чистом виде. Интерфейс (компонента взаимодействия, логический процессор) реализует также взаимодействие между человеком и базой знаний. Если оператор процесса хочет воспользоваться знаниями, заключенными в ЭС, то он передает необходимую для построения решающего правила информацию.

Продукционная БЗ ЭС представляется как тройка $\langle A, \Pi, Q \rangle$, где $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – множество фактов; $\Pi = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ – множество правил; $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}$ – множество запросов к пользователю; База правил (БП) состоит из конечного набора правил вида:

$$p_j : a_i \wedge a_k \wedge \dots \wedge a_l \rightarrow a_z; \quad j = \overline{0, n}; i = \overline{0, m}; l = \overline{0, g}; z = \overline{0, h};$$

Запрос представляет собой обращение к фактам:

$$q_j = \{a_i, a_k, \dots, a_l, \dots\} i, k, l, j = 0, 1, \dots$$

Фрагмент набора правил приведен в табл. 3.3.

Рассмотрим проблему управления процессом флотации как динамическим объектом. Функциональная схема этого процесса как объекта управления приведена на рис. 3.13.

Как уже упоминалось выше, в процессе флотации автоматизированы лишь функции подачи реагентов, а остальные управляющие функции выполняются вручную. Исследованиями установлено, что процесс флотации не может быть

описан детерминированной моделью, поэтому целесообразно использовать модель, основанную на теории нечетких множеств, позволяющих синтезировать интеллектуальную систему управления.

Таблица 3.3

Информация для формирования продукционных правил НБЗ

N п/п	ЕСЛИ...		ТО...	Аналитическое выражение
	Факты	Причина	Выражение	
1	2	3	4	5
1	В отходах появляется значительное количество частиц угля нефлотационной крупности (a1)	Вследствие неполадок в системе классификации угля перед флотацией (a2)	Улучшить работу классификационной системы (a3)	$p1: a1^a2 \rightarrow a3$
2	Появляется обильная пена во всех ячейках вплоть до послед-ней, переполня-ющая пеногаситель и попадающая в отходы (a4); пена последних ячеек имеет обычно серо-желтый цвет от налипших на нее частиц глины, перита и сланца (a5)	Передозировка реагента вспенивателя (a6)	Резко уменьшить расход реагента вспенивателя, увеличить выход пром продукта (если есть схема) перечистки и уменьшить выход концентрата; после исчезновения обильной пены в хвостовых ячейках процесс можно стабилизировать нормальной подачей реагентов (a7)	$p2: a4^a5^a6 \rightarrow a7$
3	То же по п.2	Повышение содержания тонких классов в питании (a8)	Проверить реагентный режим и держать его строго по режимной карточке (a9)	$p3: a4^a5^a8 \rightarrow a9$
4	То же по п.2 (a4, a5), также нефтяной (радуж-ный) налет на пене (a10)	Иногда зимой в уголь при транспортировке добавляют креозот, чтобы он не смерзался (a10); само попавшее масло (креозот) служит вспенивателем (a11)	Уменьшить дозировку реагента вспенивателя (a12)	$p4: a4^a5^a10^a11 \rightarrow a12$
5	Недостаток либо полное отсутствие пены на поверхности (a13); исчезающая минерализованной пены в первых ячейках машины	Недостаточная концентрация реагентов в аппарате кондиционирования пульпы (АКП) (a15)	Восстановить подачу реагентов в АКП по режимной карточке (a16)	$p5: a13^a14^a15 \rightarrow a16$

	(процесс передви- нулся в хвостовые ячейки) (a14)			
6	То же по п.5 (a13, a14)	Недостаточное время контакта пульпы с реагентами (из-за перегрузки отделения, АКП пульпой) и времени пребывания пульпы в машине (a17)	Уменьшить нагрузку АКП по пульпе (a18)	p6: a13^a14^a17- ->a18
24	Наблюдается повышение зольности концентрата без заметного повышения зольности отходов (a63)	Перелив пульпы в желоб на одной из концентратных ячеек (a64)	Отрегулировать уровень пульпы во флотомашине (a65)	p24: a63^a64->a65
25	Потемнение отходов (a20); увеличивается процент малозольных продуктов в питании флотации (a66); при этом зольность отхо-дов и концентрата уменьшаются (a54)	Неправильный режим флотации (a67)	Установить параметры флотации в соответствии с режимной картой (a68)	p25: a20^a54^a66^a67 ->a68
26	Под пеноснимателем в момент его отрыва от пены остается не слабоминерализиров анный подпеннок, а обычная мелкозернистая и тяжелая пена	Пеносниматель забирает лишь малую часть концентратной пены (a70)	Чтобы снимать всю пену, за исключением 1.5-2 см слоя (подпенка), нужно поднять уровень пульпы в машине хвостовым шибером (a71) для флотомашин прямоточного типа (a81)	p26: a69^a70^a81 ->a71
	(при этом снижается выход концентрата) (a69)			
27	То же по п.26 (a69)	То же по п.26 (a70)	Для флотомашин камерного типа (a80) поднять уровень пульпы по камерам (a72)	p27: a69^a70^a80 ->a72
28	То же по п.26 (a69)	То же по п.26 (a70). При наличии механизма регулировки по высоте пеноснимателя (a79)	Воспользоваться регулировкой по высоте пеноснимателя, если она целесообразна при сложившейся ситуации (a73)	p28: a69^a70^a79 ->a73

29	То же по п.16 (а44)	Перегрузка машины по жидкой фазе (а44)	Довести содержание твердого в пульпе до нормы (а45)	p29: a44->a45
30	Потемнение отходов (а20)	Увеличение содержания твердого в питании (а75) (нарушение технологии процесса)	Увеличить объем воды или фильтрата, подаваемых для разбавления питания, снизить содержание твердого в сгущенном продукте сгустителя (а76)	p30: a20^a75->a76
31	То же по п.30 (а20)	Чрезмерная подача питания (а77)	Уменьшить подачу питания до нормы (а78)	p31: a20^a77->a78
41	То же по п.30 (а20), по п.19(а51)	То же по п.19(а52)	То же по п.19 (а55)	p41: a20^a51^a52->a55
42	То же по п.41 (а20, а51)	То же по п.20(а56)	То же по п.20 (а57)	p42: a20^a51^a51^a56-->a57
43	То же по п.42 (а20, а51),по п.21 (а53)	То же по п.21(а58)	То же по п.21 (а59)	p43: a20^a51^a53^a58->a59
44	То же по п.30 (а20), по п.22(а60)	То же по п.22(а61)	То же по п.22 (а62)	p44: a20^a60^a61->a62
45	То же по п.44 (а20, а60)	То же по п.23(а44)	То же по п.23 (а45)	p45: a20^a60^a44->a45
50	То же по п.30 (а20); имеется схема перечистки (а82)	Увеличение циркуляционной нагрузки при неправильном съеме промпродукта (а83)	Уменьшить циркуляционную нагрузку, изменив съем промпродукта (а84)	p50: a20^a82^a83->a84
51	То же по п.50(а82); уменьшается зольность концентрата (а54)	Увеличение процента малозольных продуктов в питании флотации (а66)	Необходимо переключить ячейки для распределения ячеек между продуктами (а86)	p51: a20^a82^a54^a66->a86
52	То же по п.50 (а20, а82); потемнение пульпы в хвостовых ячейках бoьше, обычного, минерализация конечного продукта перечистки (а87)	Уменьшение расходов реагентов (а88)	Проверить реагентный режим и держать строго по режимной карте (а9)	p52: a20^a82^a87^a88->a9
53	То же по п.30 (а20), факт по п.5 (а13)	То же по п.14 (а38)	То же по п.12 (а34)	p53: a20^a13^a38->a34

Целью управления процессом флотации является поддержание зольности концентрата на заданном уровне $A_k^d = A_k^{d*} \pm \Delta A_k^d$, где $A_k^{d*}, \Delta A_k^d$ – соответственно заданная зольность флотоконцентрата и допустимое отклонение от задания и зольность отходов на уровне не ниже заданного $A_0^d \geq A_0^{d*}$, где A_0^{d*} – заданная зольность отходов.

В общем виде зольность концентрата A_k^d и зольность отходов A_o^d являются нечеткими функциями многих переменных:

$$A_k^d = f_1(Q, \rho, q_n^*, q_c^*, q_n^{**}, q_c^{**}, A_c^d, H, \alpha, \gamma),$$

$$A_o^d = f_2(Q, \rho, q_n^*, q_c^*, q_n^{**}, q_c^{**}, A_c^d, H, \alpha, \gamma),$$

где α, γ – соответственно гранулометрический и фракционный состав твердой фазы исходного питания.

Остальные обозначения приведены на рис. 3.14.

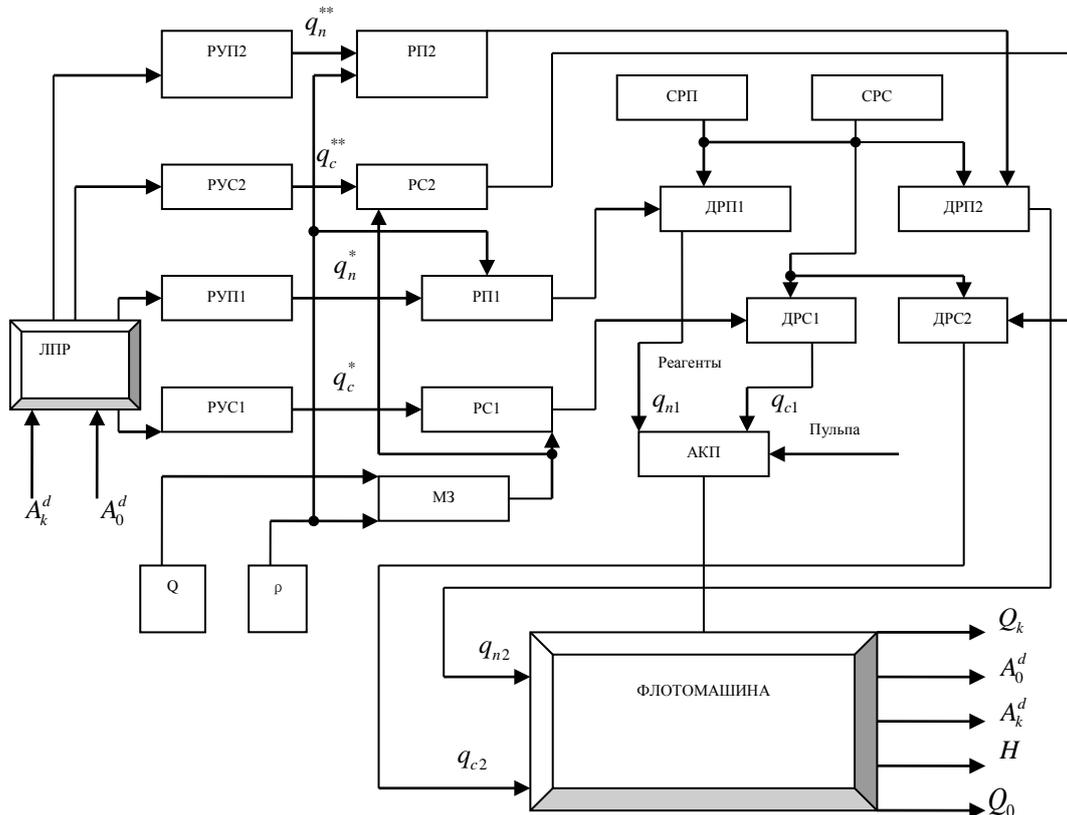


Рис. 3.14. Функциональная схема процесса флотации как ОУ:

Обозначения: СРП, СРС – сборники реагентов пенообразователя и собирателя; ДРП1, ДРС1 – дозаторы реагентов в голову процесса; ДРП2, ДРС2 – то же в камеры процесса; РП1, РС1 – регуляторы подачи реагентов в начало процесса; РП2, РС2 – то же в камеры флотомашин; РУП1, РУС1 –регулирующие устройства задатчиков удельных расходов реагентов, подаваемых в голову процесса; РУП2, РУС2 –то же в камеры процесса; МЗ –множительное звено; АКП – аппарат кондиционирования пульпы; q_{n1}, q_{c1} –расходы реагентов пенообразователя и собирателя, подаваемых в АКП; A_u^d, A_k^d, A_o^d –соответственно зольность исходного, концентрата и отходов; H –уровень пульпы в ванне флотомашин; Q_k, Q_o –производительность флотомашин по концентрату и отходам, соответственно; q_n^*, q_c^* –задание удельных расходов реагентов, подаваемых в камеры флотомашин.

Поскольку A_C^d, α, γ имеют вероятностный нестационарный характер, приведенные зависимости не могут описываться детерминированными функциями. Кроме того, A_0^d и A_k^d коррелированы между собой.

Для регулирования расходов реагентов используются простые П или ПИ-регуляторы, задания которым ставятся оператором. Динамические свойства процесса флотации по каналам $q_n \rightarrow A_k^d, q_C \rightarrow A_k^d, q_n \rightarrow A_0^d, q_C \rightarrow A_0^d$ аппроксимируются аperiodическими звеньями первого или второго порядка с чистым запаздыванием, коэффициенты усиления изменяются случайным образом в зависимости от свойств обогащаемого угля, а постоянное запаздывание по каналам $q_n \rightarrow A_k^d$ и $q_C \rightarrow A_k^d$ достигает нескольких десятков минут, поскольку измерение зольности концентрата возможно лишь после его обезвоживания.

В большинстве случаев инструментальные измерения зольности концентрата и отходов не выполняются, а ее значения определяются путем обработки проб в химлаборатории. В этом случае чистое запаздывание информации о зольности достигает нескольких часов.

В этих условиях чрезвычайно важное значение имеет компенсация возмущений на входе объекта управления без запаздывания информации, а информация о качестве продуктов обогащения может быть использована лишь для коррекции модели.

Управляющими воздействиями для процесса флотации являются расходы реагентов:

$$q_{n1} = K_1 Q q_n^*; q_{n2} = K'_1 Q q_n^{**};$$

$$q_{C1} = K_2 Q \rho q_C^*; q_{C2} = K'_2 Q \rho q_C^{**},$$

где K_1, K'_1, K_2, K'_2 — коэффициенты пропорциональности, определяемые экспериментально в зависимости от характеристик обогащаемого угля и других параметров.

В некоторых случаях в начале процесса стабилизируют плотность шлама и его расход. Для исключения влияния высоты пульпы в ваннах стабилизируют ее с помощью простейшего регулятора прямого действия. В связи с этим управление процессом осуществляется с целью поддержания заданных зольности концентрата и отходов флотации, а управляющими воздействиями являются расходы реагентов, количество которых определяют их удельные расходы $Q_n^*, Q_n^{**}, Q_C^*, Q_C^{**}$, расход и плотность пульпы.

Непосредственно управляющие воздействия реализуются ЛПР изменением установок $Q_n^*, Q_n^{**}, Q_C^*, Q_C^{**}$.

При разработке нечеткого регулятора процессом флотации в приведенной выше постановке можно использовать аналитические и лингвистический методы синтеза. Первые методы могут быть эффективны при наличии средств непрерывного измерения зольности концентрата и отходов флотации, а в случае эпизодического измерения зольности путем отбора и лабораторного анализа проб или оценки качества при помощи органов чувств (цвет, вязкость и др.) предпочтительнее использовать лингвистический метод синтеза. Поскольку процессы флотации на подавляющем большинстве обогатительных фабрик не имеют инструментальных

методов контроля качества конечных продуктов, рассмотрим синтез нечеткого регулятора лингвистическим методом.

Качественную информацию о процессе флотации можно получить у оператора. Введем значения лингвистических переменных (термы), описываемых соответствующими нечеткими подмножествами, заданными на универсальных множествах ОБ, ОС, ОМ, Н, ПМ, ПС, ПБ – соответственно "отрицательно большое", "отрицательно среднее", "отрицательно малое", "норма", "положительно малое, среднее, большое". При необходимости на универсальном множестве можно указать большее количество термов (например, отрицательно ниже большого, среднего, малого, и т.п.).

Обычно для динамических объектов в качестве базовых переменных используют выходную координату и скорость ее изменения. Для процесса флотации задачу можно значительно упростить и пользоваться только выходной координатой, поскольку постоянная времени объекта значительно меньше времени чистого запаздывания. Этим динамическая задача фактически приводится к статической. Однако при этом следует учитывать постоянное запаздывание и изменять управляющие воздействия на входе процесса допустимо лишь с интервалами времени, $T_y \geq \tau_s + t_{n.n}$, где τ_s – время постоянного запаздывания, $t_{n.n}$ – длительность переходного процесса, $t_{n.n} \approx (3-5)T$, T – постоянная времени объекта управления.

Тогда для всех базовых переменных вводятся лингвистические переменные, описываемые соответствующими нечеткими подмножествами и ФП, заданными на универсумах (рис. 3.15).

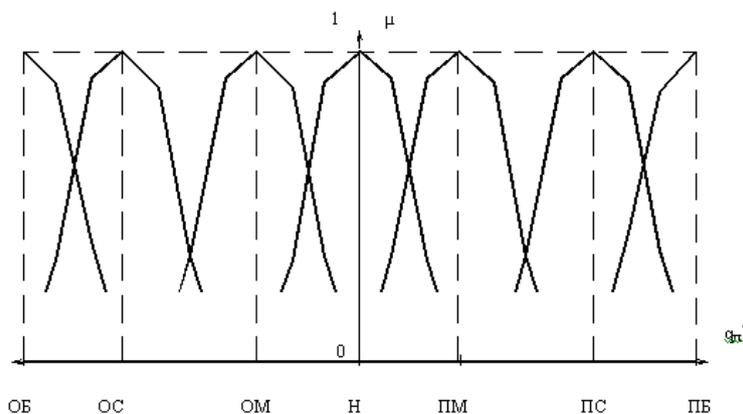


Рис. 3.15. ФП, соответствующие термам {ОБ, ОС, ОМ, Н, ПМ, ПС, ПБ}.

Примечание. Аналогичные ФП имеют соответствующие термам переменных $q^*, q_-, q_c^*, A_k^d, A_o^d$.

Для рассматриваемого процесса имеем 4 управляющих входа и 2 выхода. На основании опыта работы квалифицированных операторов процесса флотации составляется таблица в виде продукций, например, вида "ЕСЛИ A_k^d есть ОБ, A_o^d есть ОС, ТО q_n^* есть ПМ, q_c^* есть ПС, q_n^{**} есть Н, q_c^{**} есть ПМ". Все продукции вводятся в базу знаний, по мере необходимости дополняются и корректируются.

При формировании базы знаний необходимо учитывать следующие общие положения:

1. При недостаточной подаче реагента собирателя в начале процесса (АКП) нарушается образование флокул, что приводит к увеличению потерь горючей массы с отходами, выражаясь в снижении зольности отходов. Зольность концентратов при этом снижается.

2. При чрезмерной подаче реагента собирателя в флокулы могут попадать породные частицы, поэтому зольность концентрата увеличивается, а зольность отходов тоже может увеличиваться.

3. При недостаточной подаче реагента пенообразователя в АКП снижается интенсивность образования пенного слоя. Не все угольные частицы всплывают, поэтому зольность концентрата снижается, а потери угля с отходами растут (зольность их снижается).

4. В случае чрезмерной подачи реагента пенообразователя наряду с угольными промпродуктовыми частицами всплывают и породные, поэтому зольность концентрата увеличивается, а зольность отходов при этом может также возрасти. В этом режиме опасно запенивание флотации, что считается аварийным режимом.

5. Для повышения эффективности флотации используют режим так называемой дробной флотации, суть которой – подача реагентов непосредственно в камеры флотомашин. Этим достигается извлечение крупных классов угля, которые трудно флотируются.

6. При увеличении подачи реагента собирателя в камеры флотомашин снижаются потери угля с отходами, зольность отходов возрастает, а зольность концентрата может как увеличиваться, так и уменьшаться.

7. Подача реагента пенообразователя в камеры флотомашин приводит к извлечению крупных частиц угля, и как следствие, к снижению зольности концентрата и увеличению зольности отходов.

Таким образом, существуют оптимальные значения $Q_n^*, Q_n^{**}, Q_C^*, Q_C^{**}$, которые можно найти лишь опытным путем. Из опыта эксплуатации известно, что зависимости зольности концентрата и отходов от удельных расходов реагентов могут быть монотонными или иметь экстремум. В случае монотонной зависимости при передозировании реагентов существует вероятность повышенного расхода, что повышает уровень загрязнения окружающей среды.

Экспертная система управления качеством концентрата и отходов допускает корректировку и пополнение базы знаний. Указанная система реализована на ПК. Программное обеспечение выполнено на языке Турбо Паскаль.

Использование экспертной системы позволит снизить потери угля с отходами обогащения и расход реагентов, минимизировать объем выбросов и улучшить качество работы процесса флотации в целом.

Синтез гибридных регуляторов для управления технологическими процессами производства. Перечень проблем, которые должны быть решены, обуславливают наличие различной степени неопределенности исходного и апостериорного информационного поля. И в зависимости от уровня неопределенности необходимо использовать те или иные методы обработки информации и моделирования, управления и принятия решений, причем следует учесть необходимость и важность участия в указанных процессах ЛПР, так как

характер, что обуславливает ее размытость. Теория возможностей и нечетких множеств позволяет представлять и контролировать размытую информацию в количественной мере, что дает возможность создания нечетких активных экспертных систем [34-38]. С другой стороны, практика применения нейронных сетей показывает, что они также обладают свойством размытости главным образом из-за их распределенности. Это приводит к необходимости разработки гибридных интеллектуальных систем управления, т.е. нечетких систем управления с самообучением на основе нейромоделирования.

Знания в нейронной сети представляются в виде распределенной системы с весовыми коэффициентами между блоками и узлами сети как комплексы вида: « Обучение + Вычисления + Обработка ». Под обработкой знаний подразумевается обеспечение одинакового поведения нейросистемы при равных внешних условиях и воздействиях. Такое свойство систем является важной характеристикой для многих приложений, в частности, для активных экспертных систем.

Рассмотрим проблему создания элементов гибридной системы управления, которая основана на нечеткой экспертной системе с нейронной сетью обучения, при этом также решена задача, которую кратко можно сформулировать следующим образом: допустим, что создана база знаний, состоящая из независимых правил вида: IF <Условие> THEN < Действие >. Разработаем алгоритм вывода решения при любых новых не описанных в базе ситуациях. Итак, пусть имеется совокупность L правил вида: RULE¹ ALSO RULE².....ALSO RULE^L, где RULE^j имеет форму: IF X₁ is A₁^j and X₂ is A₂^j and ... and X_n is A_n^j THEN Y₁ is B₁^j and Y₂ is B₂^j..... and Y_m is B_m^j. Здесь X₁, X₂, ..., X_n – входные лингвистические переменные в части IF, т.е. переменные, которые принимают значения из универсумов U_i=(U_{i1},U_{i2}, ..., U_{in}), а Y₁,Y₂.....Y_m – выходные лингвистические переменные в части THEN, т.е. переменные, которые принимают значения из универсумов V_k=(V_{k1},V_{k2},.....,V_{km}). Входные данные задаются в виде: X₁ есть C₁, И X₂ есть C₂, ..., X_n есть C_n, а выходные – как Y₁ есть D₁, И Y₂ есть D₂,..., И Y_m есть D_m, где A_i^j,C_i, B_k^j, D_k являются нечеткими подмножествами, которые определены в соответствии с универсумами и представляют собой некоторые термы типа: высокий, низкий, нормальный, средний и т.п. При решении данной задачи в качестве количественной меры оценки вывода применим функции принадлежности вида:

$$A_i^j(U_i): U_i \rightarrow [0,1], C_i(U_i): U_i \rightarrow [0,1], B_k^j(V_k): V_k \rightarrow [0,1], D_k(V_k): V_k \rightarrow [0,1].$$

Механизм вывода получен в виде:

- определение меры возможности β_i^j для каждого i в правой части IF;
- определение общей меры $\beta^j = \Lambda_i^n \beta_i^j$;
- определение композиции $\beta^j \circ \beta^j(v) = \beta^j \wedge \beta^j(v)$.

Если при выводе решения используется более одного правила, но с разными β^j (т.е. все правила удовлетворяют условию $\beta > \beta_0$), то их можно объединить с помощью оператора \cup .

Таким образом, получено общее уравнение механизма приближенного вывода в следующем виде: $D^j(v) = \bigcup_{k=1}^K \left\{ \left[\bigcap_{i=1}^n \beta_i^k \right] \cap \beta^k(v) \right\}$, где K – общее число правил, используемых

при принятии решений при условии $\beta > \beta_0$. Здесь β_0 – величина порога, устанавливаемая экспертом при выборе доминирующих правил.

В предложенном варианте механизма вывода используется многослойная нейронная сеть, а именно сеть BNN (Back-propagation Neural Network). При этом получены ответы на следующие вопросы, относящиеся к применению нейронной сети BNN: сколько слоев достаточно для используемой сети? Сколько узлов обработки необходимо для каждого скрытого (внутреннего) слоя сети? Сколько и какой информации требуется при реализации отображения (модели «вход - выход») в нейронной сети для механизма приближенного вывода. Полученные в работе результаты могут быть использованы в системе управления технологическими процессами углеобогащения, металлургии, цементного производства и др.

В проектировании размытых систем управления и их реализации процедуры представление знаний, рассуждений и приобретение знаний играют фундаментальную роль. Поскольку мы используем модель, основанную на правилах, т.е. продукционную структуру, выпуск представления знания имеет определенное значение того, как лингвистические правила могут быть представлены, численно используя размытые подмножества и размытое соотношение, или размытую импликацию. Имеются два подхода для формирования базы правил в размытых системах: 1) Набор правил, извлеченный от опытного эксперта, может быть выражен набором лингвистических правил с формой ЕСЛИ <Условие> ТО <Действие>, связывающее измеряемые переменные, чтобы управлять переменной; 2) Синтез базы правил, основанный на основе алгоритма распознавания, непосредственно используя управляемый (исследуемый) процесс.

Размытая система может быть элементом активного управления или функцией приближения (для моделирования процесса). Для первого: положим, что для определенной системы известны набор входов X и выход Y , база правил получена из доступного источника, содержащего набор правил, связывающий X с Y , используя предопределенные лингвистические обозначения.

Размытая система на лингвистическом уровне может быть установлена как показано на рис. 3.17.

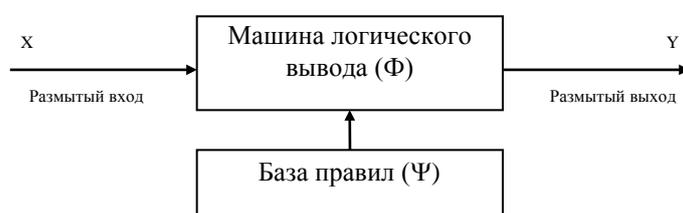


Рис. 3.17. Упрощенная схема размытой системы

Для $X_0, Y_0 = \Phi(\Psi_x^y, X_0)$. Механизм работает следующим образом:

- процесс вывода сначала выполняет процедуры соответствия между X <условие> и ЕСЛИ частями правил;
- выполняет соответствующее действие «ТО», на основе результата соответствия с ТО частями правил, использующих размытую стратегию вывода.

Чтобы выполнять размытую систему в вычислительной форме, один из алгоритмов должен создать матрицу соотношений из доступной базы правил, и реакция на выходе Y рассчитана уравнением соотношения $Y=XoR$, где o обозначает логический оператор, выполняющий композицию вывода.

Второе исполнение размытой системы – как функция аппроксимации, т.е. моделирование процесса. При этом взаимодействие с окружающей средой система осуществляет через две процедуры, а именно: фазификацией (FZ), дефазификацией (DF) (рис. 3.18).

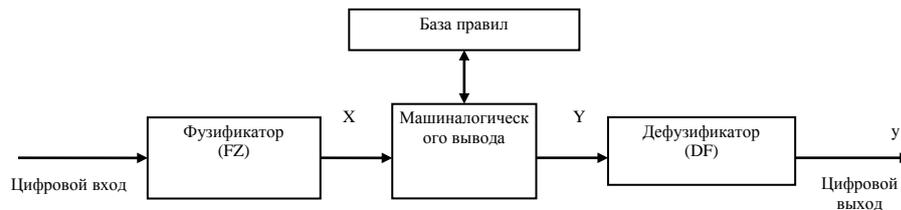


Рис. 3.18. Процедура фазификация - дефазификация

На рис. 3.18 $Y = F(X)$, $y = f(x)$, $x \in \bar{X}$ в $y \in \bar{Y}$.

Такой моделью системы мы можем представлять известную или неизвестную функцию, линейную или нелинейную (что очень важно). Выполнение размытого алгоритма в системе активного управления может быть как прямой контроллер или как супервизор, где функция размытой системы находится в контуре низкого уровня.

Разработка интегрированной системы управления. Для разработки нечеткой нейронной структуры управления можно использовать две идеи: первая – сделать существующую размытую систему нейронной, вторая – «размыть» существующую нейронную сеть. Первая задача выполняется отображением размытой системы в нейронные сети, функционально или структурно.

Обычно возникают следующие вопросы управления:

- заданный для управления процесс может быть неопределенным и малопонятным;
- возможность допустить описание, например, эталонной моделью, математической функцией стоимости, индексной таблицей или размытыми целями;
- задание набора ограничивающих условий, налагаемых характеристиками рассматриваемой физической системы;
- используя имеющиеся знания о процессе и технологиях, создать контроллер так, что система централизованного управления ведет себя так, как ожидается при условии удовлетворения и поддержания указанных характеристик.

Решение указанной выше проблемы с использованием нечеткого нейронного подхода формулируется следующим образом: при данном процессе (объекте) P , наборе ограничений Q и цели R выбрать структуру контроллера S и вычислительный алгоритм T , используя при этом предшествующие знания U и алгоритмы обучения V , для создания S так, чтобы достичь R при условии Q , т.е. для проблемы управления (P, Q, R) наша задача состоит в том, чтобы создать (S, T) , используя (U, V) .

Под нечетким нейронным управлением мы обычно понимаем следующее: контроллер имеет структуру, следующую из сочетания размытой системы и нейронных сетей; итоговая система управления состоит из размытой системы и нейронной сети как независимые компоненты, выполняющие различные задачи, и гибридные методологии проектирования для построения соответствующих контроллеров, происходящие из идей размытого и нейронного управления.

Процесс вывода решения может быть конкурирующим (альтернативным) или объединяющим, в зависимости от соответствующего алгоритма рассуждений. После задания структуры нечеткой нейронной системы соответствующим вычислительным алгоритмом необходимо уделить внимание роли этой системы в решении проблемы управления.

Для представления знаний и их приобретения мы используем: нейронную сеть с обратным распространением (BNN), реализация алгоритма приближения которой описана на рис. 3.19; сеть противораспространения (CPN), которая упрощает алгоритм размытого управления и представлена на рис. 3.20.

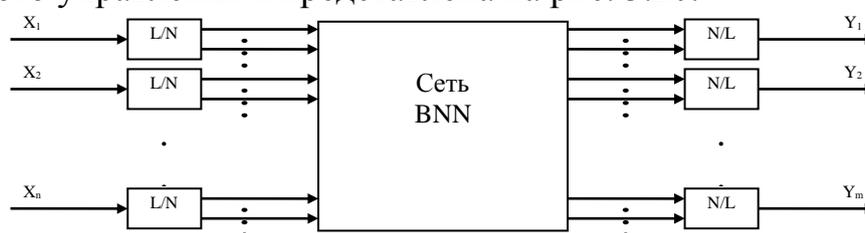


Рис. 3.19. Схема НС с обратным распространением



Рис.3.20. Упрощенная структура смешанного управления



Рис. 3.21. Иерархическая система с распределенными функциями
Управления

При рассмотрении размытой системы и нейронной сети как двух различных вычислительных элементов они могут быть конфигурированы на уровне систем иерархическим способом: размытая система будет супервизор или нейронная сеть, контроллер низкого уровня непосредственно управляет промышленным объектом.

Второй уровень – непосредственно контроллер переменных процесса. (Нейронные сети + Программируемый Логический Контроллер (PLC)).

Второй тип интеграции между нейронными сетями и размытой системой - в подуровне, отбором один к другой функционально или структурно.

В результате слияния и интегрирования размытой системы с нейронными сетями мы получаем размытую нейронную систему, которая может называться «Гибридная система управления». Гибридизация обуславливается тем, что, с одной стороны, размытые системы имеют дело с качественной информацией, а с другой нейронные сети имеет дело с количественной (числовой) информацией. Основная идея и преимущество реализации такой системы состоит в том, что размытая система обладает огромными возможностями в представлении лингвистических и структурированных знаний с помощью размытых множеств и выполнении нечетких рассуждений нечеткой логикой качественным способом (используя опыт экспертов по проблемной области), и с другой стороны, нейронные сети особенно хороши для представления нелинейного отображения вычислительным способом, они создаются сами собой в основном через алгоритмы обучения на выборках.

Очевидно, можно легко понять поведение размытых систем благодаря их логической структуре и пошаговости процедур ввода/вывода, нейронные сети обычно действуют как черный ящик. Основная структура конфигурации иерархической системы с распределенными логическими функциями измерения, регулирования и управления показана на рис. 3.21. На рис. 3.21 A+V составляют супервизорный уровень, а C+D – управляющий уровень.

Диспетчерское управление состоит из сбора и хранения информации о значениях параметров управляемого процесса и аварийных сигналах, оценки производительности, длительности работы и другой статистики, и т. д. Процедура диалога и процедура отчетности для каждой регулируемой переменной процесса в аналоговом или цифровом виде называется "точкой", и для каждой точки имеется так называемая «технологическая карта точки». Комплект технологических карт точки, соответствующей всем регулируемым переменным процесса в любой момент времени содержит полную информацию об эксплуатационном состоянии процесса (рис. 3.22).

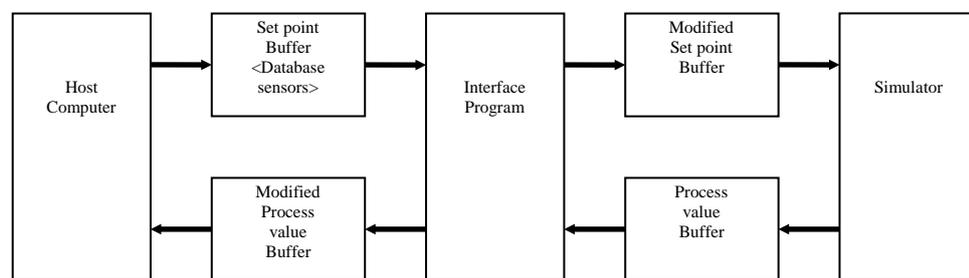


Рис. 3.22. Общая схема управления

Таким образом, в разделе предложены функциональная структура и алгоритм размыто - нейронной системы (гибрид) для управления многомерным промышленным объектом в реальном времени. Такая система может быть

использована, например, в системе автоматизации управления технологического процесса в производственной системе.

3.6. Интеллектуальная система поддержки принятия решений диагностики кризисного состояния ПЭС

Промышленные объекты относятся к классу сложных производственно-экономических систем, которые в процессе своего целенаправленного или задаваемого функционирования находятся в динамике и подвержены воздействиям как контролируемых, так и неконтролируемых причин, т.е. состояние ПЭС со временем претерпевает те или иные изменения. Поэтому необходима организация контроля и диагностирования с целью придания ПЭС нормального (желаемого) функционирования с учетом экономико-экологических параметров. Вопросы организации процедур диагностирования, построения моделей объектов, разработки алгоритмов и проектирования конкретных автоматизированных систем диагностирования широко известны в зарубежной и отечественной литературе [7, 13, 14, 161]. Отметим, что диагностирование ПЭС сопряжено со значительными трудностями в силу ряда особенностей. Ввиду необходимости проведения диагностических процедур непосредственно в процессе эксплуатации ПЭС чаще используются методы функционального диагностирования. Большую сложность в осуществление процедур диагностирования вносит инерционность многих связей (отношений). Сложная функциональная связанность параметров проявляется в том, что изменение значения какого-либо параметра может быть вызвано целым рядом причин.

Существенную роль при этом также играют ошибки в управлении, объясняемые как трудностями обеспечения непрерывного контроля за состоянием ПЭС, так и необходимостью хранения, сбора и переработки в реальном масштабе времени большого объема информации, одновременного учета множества различных факторов для диагностики, что часто превышает возможности оператора-диспетчера. Анализ таких особенностей процесса диагностирования сложных технико-экономических систем, как: множество альтернатив интерпретации событий; необходимость совместного рассмотрения множества событий; формирование алгоритмов распознавания первопричины нарушения чаще в виде набора правил, чем в виде системы управления; а также необходимость использования эвристических способов выделения наиболее вероятных решений и области их существования, указывает на возможность повышения эффективности процедур диагностики при использовании методов теории искусственного интеллекта.

Таким образом, исходя из всего вышесказанного, можно сделать заключение о необходимости создания интегрированных интеллектуальных компьютерных систем (ГИКС) диагностики ПЭС, сочетающих в себе свойства традиционных систем, использующих "жесткие" модели и алгоритмы, и такие признаки интеллектуальных систем (систем, основанных на знаниях), как наличие базы знаний (БЗ), дружелюбного интерфейса, логического вывода, самообучения. При

этом наибольший эффект можно получить при интеграции этих двух подходов в единую систему [7]. В процессе диагностирования технологического состояния ПЭС в экологическом мониторинге процедуры поиска причин нарушений в множествах неконтролируемых возмущений, которые отличаются наличием неопределенностей, целесообразно реализовать с использованием методов искусственного интеллекта. Отсутствие достаточного объема статистических данных для установления объективных зависимостей между значениями признаков и вероятностных диагнозов обуславливает эвристическое описание этих зависимостей.

Постановка задачи. В общем виде модели объекта диагностирования и каналов передачи информации можно представить в виде следующих операторных уравнений:

$$F(x, u, w, a, t) = 0, y(t) = G(x, u, \xi_0, v, b, t), \quad (3.1)$$

где $x \in R^n$ – вектор состояния; $u \in R^r$ – вектор управления; $y \in R^m$ – вектор выходных переменных; w, v – векторы возмущений и помех (входящие в уравнения (3.1) как аддитивно, так и мультипликативно); a, b – векторы неопределённых параметров, причём $\dot{a}(t) = 0$ и $\dot{b}(t) = 0$; F, G – некоторые заданные операторы (дифференциальные, как обыкновенные, так и с частными производными, интегральные, интегро-дифференциальные, матричные и т.п.). В частности, в качестве (3.1) могут быть использованы стохастические дифференциальные уравнения (линейные или нелинейные, непрерывные или дискретные), уравнения в частных производных, например, для случая учета территориального расположения производственных объектов.

Практически реализуемые модели для обработки и идентификации имеют вид:

$$\dot{x}(t) = A(t, \theta)x + B(t, \theta)u + W(t), y(t) = C(t, \theta)x + V(t), \quad (3.2)$$

или, в дискретном случае $y(k+1) = H(k)x(k) + V(k)$,

$$x(k+1) = \Phi(k+1, k, \theta)x + \Psi(k+1, k)u(k) + W(k). \quad (3.3)$$

Контрольное условие (схема) диагностирования обычно представляет собой соотношение типа:

$$\mu(E(t)) < \delta, \quad (3.4)$$

где $\mu(\cdot)$ – некоторая заданная метрика, например, евклидова норма;

δ – допустимое пороговое значение, которое задаётся;

$E(t)$ – невязка (отклонение) либо выхода от нормы, либо оценки состояния от эталона, либо оценки параметров от номинальных, либо характеристик оценок от возможного (например, ковариации обновляющих процессов в фильтре Калмана) и т.п.

Например,

$$E(t) = \Phi(y^T, q^{-1}y^T, \dots, q^{-k}y^T, u^T, q^{-1}u^T, \dots, q^{-k}u^T),$$

где Φ – оператор,

k – порядок контрольной схемы, которые подлежат определению (или заданию).

Тогда условие отсутствия дефектов будет иметь вид:

$$E(t) = 0, t = 0, 1, 2, \dots \text{ а условие (3.4) можно переписать так: } \|E(t)\| \leq \delta.$$

Отметим, что поставленная задача может быть решена как в случае детерминированной, что бывает редко, так и в условиях стохастической и множественной неопределённости.

Интеллектуализация и интеграция системы диагностирования. Как было отмечено во введении, для повышения эффективности и качества диагностирования сложных технических систем, к которым и относятся ПЭС, необходимо создать интеллектуальные и интегрированные компьютерные системы, основанные как на традиционных методах, так и на основе новых информационных технологий.

П о с т а н о в к а задачи диагностирования в условиях нечеткой информации. Пусть X_1, \dots, X_n – ряд признаков, по конкретным значениям которых принимаются суждения о субъективной вероятности диагнозов из заранее определенного ряда диагнозов D_1, \dots, D_k . Каждый из X_i , $i = \overline{1, n}$ принимает значение из множества $X = \{x_{i1}, \dots, x_{im_i}, \dots, x_{ip_i}\}$. В момент t состояние объекта описывается вектором признаков:

$$X(t) = [X_1(t), \dots, X_n(t) | X_i(t) = X_{im_i}]^T, m_i = \overline{1, p_i}, \quad (3.5)$$

где $X_i(t)$ – реализация признака X_i в текущий момент t .

Требуется определить оценку вероятности (степень возможности) диагнозов $P_e(j)$:

$$\forall j = \overline{1, k} : m_e(j) = m_e(D_j / X(t)), \quad (3.6)$$

где P_e – символ субъективной вероятности.

Формы представления экспертных знаний в системе. Для решения поставленной задачи важным вопросом является способ представления экспертных знаний.

Первый способ. Экспертные знания представляются в виде следующей системы правил:

$$\begin{aligned} \forall i = \overline{1, n}, \forall j = \overline{1, k} : X_1 = x_{1m_1}, \dots, X_n = x_{nm_n} &\Rightarrow \\ \Rightarrow P_e(D_j | X(t)) = P_{es}(D_j | (x_{1m_1}, \dots, x_{nm_n})) & \end{aligned} \quad (3.7)$$

где x_{im_i} – конкретное значение X_i из множества $\{x_{im_i}\}, m_i = \overline{1, p_i}, p_i = \text{card}\{x_{im_i}\}$;

P_{es} – s -е значение оценки вероятности из множества возможных значений $\{P_{es}\}$,

$P_{es} \in [0, 1], s = \overline{1, m}$.

Второй способ. Другой возможный вид представления экспертных знаний представляет собой систему правил, описываемых при тех же обозначениях следующим образом:

$$\forall i, \forall j, \forall m_i : x_i = x_{im_i} \Rightarrow P_e(D_j | X_i) = P_{es}(D_j | x_{im_i}) \quad (3.8)$$

Оба рассмотренных способа представления экспертных знаний обладают различными свойствами, и алгоритмы обработки этих форм информации также различны.

Лингвистический способ. Наиболее удобной для эксперта формой представления знаний имплицативного вида является наиболее привычная для

человека - лингвистическая. При этом эксперт оперирует размытыми (нечёткими) категориями, типа:

"Если значение X_i очень большое, то вероятность D_j – малая". Поэтому к составлению модели нечёткой информации можно применить лингвистический подход на базе теории нечётких множеств Л. Заде [12, 13].

В нечётком алгоритме диагностирования признаки $\{X_i\}$ и вероятности P_e представляются лингвистическими переменными (ЛП), определяемыми кортежами:

$$\langle X_i, T_i, V_i, G_i, M_i \rangle, i = \overline{1, n} \quad (3.9)$$

$$\langle P_e, P, U, S, Q \rangle, \quad (3.10)$$

где X_i, P_e – наименование соответствующих ЛП;

T_i, P – терм-множества переменных X_i и P_e соответственно, т.е. множества их лингвистических значений, представляющих собой наименование нечётких переменных (НП):

$$A_{if_i} (f_i = \overline{1, p_i} / p_i = \text{card} T_i) \text{ и } B_r (r = \overline{1, m} / m = \text{card} P)$$

со значениями из универсальных множеств V_i и U ; G_i, S – синтаксические правила, порождающие названия A_{if_i} и B_r значений переменных X_i и P_e ; M_i, Q – семантические правила, позволяющие превращать каждое новое значение ЛП в НП, НП A_{if_i} и B_r , в свою очередь, представимы в виде соответствующих кортежей:

$$\langle A_{if_i}, V_i, \tilde{C}_{if_i} \rangle, i = \overline{1, n}, \quad (3.11)$$

$$\langle B_r, U, \tilde{E}_r \rangle, r = \overline{1, m}, \quad (3.12)$$

где A_{if_i}, B_r – наименования НП; V_i и U те же, что и выше;

$$\tilde{C}_{if_i} = \bigcup_{v \in V_i} \mu_{\tilde{C}}(v) / V \text{ и } \tilde{E}_r = \bigcup_{u \in U} \mu_{\tilde{E}}(u) / U$$

– нечёткие подмножества (НМ) множеств V_i и U , описывающие ограничения на возможные значения НП A_{if_i} и B_r ; $\mu_{\tilde{C}}(\cdot)$ и $\mu_{\tilde{E}}(\cdot)$ – функции принадлежности (ФП) для \tilde{C}_{if_i} и \tilde{E}_r . Например, для некоторого блока ПЭС диагностическим признаком $\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}$ поставлены в соответствие следующие ЛП:

$$\langle X_1, T_1, [\cdot, \cdot], G_1, M_1 \rangle;$$

$$\langle X_2, T_2, [\cdot, \cdot], G_2, M_2 \rangle;$$

.....

$$\langle X_5, T_5, [\cdot, \cdot], G_5, M_5 \rangle;$$

где терм- множества $T_1 = \dots = T_5 = \{\text{намного увеличился, увеличился, немного увеличился, немного уменьшился, уменьшился, намного уменьшился, не изменился}\}$.

Оценка вероятности представлена одноимённой ЛП P_e , а терм- множество P состоит из следующих лингвистических значений переменной: B_1 – исключено, B_2 –

почти невероятно, B_3 – очень маловероятно, B_4 – маловероятно, ..., B_m – абсолютно точно.

Вопрос построения ФП для \tilde{C}_{if_i} и \tilde{E}_r можно решить, используя рекомендации, представленные в [1, 6, 7].

Таким образом, выражения (3.7) и (3.8), согласно обозначениям (3.9) - (3.12) в общем могут быть записаны следующим образом:

$$\forall i, \forall j: \text{ЕСЛИ } X_1 \text{ ЕСТЬ } A_{1f_1}, \dots, X_n \text{ ЕСТЬ } A_{nf_n}, \\ \text{ТО } P_e(D_j / (X_1, \dots, X_n)) \text{ ЕСТЬ } B_r \quad (3.13)$$

$$\forall i, \forall j, \forall f_i: \text{ЕСЛИ } X_i \text{ ЕСТЬ } A_{if_i}, \text{ ТО } P_e(D_j / X_i) \text{ ЕСТЬ } B_r \quad (3.14)$$

Заметим, что представление информации в модели типа (3.14) требует в дальнейшем дополнительной процедуры получения для каждого диагноза комплексной оценки вероятности $P_e(D_j / (X_1, \dots, X_n))$ путём обобщения по определённому правилу независимых оценок $P_e(D_j / X_i)$, полученных по отдельным признакам.

Модель (3.13) лишена этого недостатка, но обладает большей размерностью. Правила типа (3.13) можно представить также в виде:

Если X_i ЕСТЬ A_{if_i} , ТО D_j с вероятностью B_r .

Таким образом, нечёткая продукционная модель (нечёткая база знаний) состоит из диагностирующих правил ("диспетчер-эксперт"):

ЕСЛИ X_i ЕСТЬ A_{if_i} , И
 ЕСЛИ X_2 ЕСТЬ A_{2f_2} , И

 ЕСЛИ X_n ЕСТЬ A_{nf_n} , ТО D_j с вероятностью B_r

На основе набора правил строится матрица нечетких отношений:

$$X_j R D_j \text{ или } R = \bigcup_{x \in X \in D} \mu_R(x, d) / (x, d).$$

Общая структурная схема системы функциональной диагностики ПЭС теперь можно представить в виде (рис. 3.23).

Программа формирования баз данных и знаний системы диагностики ПЭС. Программа разработана в системе программирования FOXPRO и готовит данные в формате экспертной системы GURU. Программа работает в диалоге с Пользователем, реализована в виде меню, включающего пункты: "База знаний", "База данных", "Моделирование", "Эксперт", "Сервис", "Выход". Каждый из пунктов имеет дополнительное всплывающее меню. Пункты всплывающего меню "База знаний": "Описание компонентов", "Описание связей", "Описание входов", "Описание выходов", "Синтез фильтров", "Синтез кадров", "Синтез представлений", "Синтез правил" и дают возможность построить описание системы "Объект - система диагностики" в виде связанных баз данных, содержащих списки: компонентов объекта, связей между компонентами, информационных входов компонентов, информационных выходов компонентов, программных фильтров,

обеспечивающих преобразование форматов данных (каждой связи, входу или выходу может быть назначено несколько фильтров), форматов входных информационных кадров, форматов представлений (выходных информационных кадров), список продукционных правил. Пункты всплывающего меню "База данных" дают возможность оперативного просмотра всех составляющих базы знаний в их взаимосвязи, а также просмотра содержимого базы данных системы в виде входных кадров, выходных представлений, выходов данных отдельных фильтров, результатов логического вывода по продукционным правилам. Пункт меню " Моделирование " включает средства построения и исследования моделей отдельных компонентов объекта. Пункт меню "Эксперт" включает штатный режим работы экспертной системы: сбор, накопление, обработку информации, логические выводы, представление результатов работы экспертной системы. Пункт меню "Сервис" включает различные сервисные средства.

Отметим, что необходимым условием работы системы является наличие на базовом компьютере СУБД FOXPRO и оболочки экспертной системы GURU.

Разработанное математическое и программное обеспечение интеллектуальной системы диагностирования кризисного состояния ПС с успехом прошло тестирование и апробирование в реальных условиях.

3.7. Интеллектуальная система моделирования и управления эколого-экономическими рисками

Проблема быстрого и точного обнаружения и оценивания рискованной ситуации (РС) в условиях трансформации экономической структуры общества, т.е. в условиях отсутствия нужного объема информации, ее нестационарности, неопределенности и нечеткости стала достаточно актуальной на современном этапе, когда основные эколого-экономические, социальные и техногенные параметры находятся в катастрофической зоне. Важной проблемой в данной ситуации является классификация, распознавание и определение динамики РС.

Важность, многогранность и прикладная распространенность проблемы распознавания привели к тому, что создано большое число решающих правил для принятия решения в задачах распознавания в самых разнообразных прикладных областях [49, 50, 162, 163]. Однако многие существующие методы и подходы, для которых они были созданы, оказались непригодными при решении других задач, связанных с высокой оперативностью, адекватностью и экстремальностью решений. Поэтому современный теоретический уровень и информационно-инструментальная и техническая база позволяют разработать и применять новые и более совершенные технологии в решении задач идентификации и распознавания сложных процессов и объектов. Естественно использовать при создании новых методов современные подходы и принципы, а именно: размытость и смешанность информации и элементы интеллектуальности; гибридизация информации (априорной и апостериорной), моделей (формальных и качественных) и критериев/решающих правил: линейная, нелинейная, экспертная, иерархическая и т.п.; самоорганизация (синергетический

аспект); адаптивность, обучаемость, быстрота и параллельность алгоритма (нейросети); распределенность параметров моделей и др.[34, 164].

Полученные таким образом методики естественно назвать гибридными, а процесс создания их – гибридизацией, аналогично тому, как при создании биологических видов для новых условий природа использует жизнеспособные биологические виды, проявившие себя успешно, хотя и в иных условиях.

Некоторые важные вопросы, которые возникают при решении проблемы создания интеллектуальных систем моделирования и управления эколого-экономическими рисками (ИСМУР), можно сформулировать следующим образом:

- разработка различных модификаций и усовершенствование технологий решения задач оценивания (идентификации), распознавания и управления эколого-экономическими рисками (ЭЭР) на основе современных теорий (гибридизация, интеллектуализация, самоорганизация, адаптируемость и обучение др.);
- учет смешанных мультипликативно - аддитивных случайных возмущений (шумов) в моделях динамики системы и каналов наблюдений.

Ниже рассмотрены некоторые возможные подходы в распознавании образов (объектов, изображений и т.п.), которые применимы в решении задач экономико-экологического мониторинга сложных систем.

Размытость, смешанность информации и интеллектуализация решения. Одно из направлений развития методов автоматической классификации и распознавания образов в последние 25-30 лет связано с использованием теории размытых множеств. Сам автор теории нечетких множеств и нечеткой логики - Л. Заде отмечает[49], что «...глубинная связь между теорией размытых множеств и распознаванием образов основана на том обстоятельстве, что большинство реальных классов размыты по своей природе в том смысле, что переход от принадлежности к непринадлежности для этих классов скорее постепенен, чем скачкообразен».

Использование алгоритмов размытой классификации позволяет учесть сложность структуры классов объектов, нестатистическую неопределенность принадлежности объектов к определенным типам, наличие объектов «промежуточного» характера.

При построении вероятностных решающих правил в задаче распознавания образов целью является восстановление степеней достоверности принадлежности объектов к классам. Эта задача, внешне схожая с задачей распознавания размытых образов, существенно отличается от последней. Действительно, вероятностная постановка задачи распознавания основана на предположении, что каждый объект принадлежит к одному классу, имеющаяся в наличии информация об объектах не дает оснований для однозначного отнесения их к тому или иному классу.

Применение вероятностного подхода для построения алгоритмов распознавания размытых образов не представляется целесообразным, поскольку каждый объект здесь может принадлежать (с разной степенью) к двум или нескольким нечетким классам, и это обстоятельство является принципиальным, оно не связано с недостатком априорной информации об объектах.

В настоящее время опубликованы уже десятки работ, в которых излагаются различные подходы к построению алгоритмов классификации, имеющих целью определение степеней принадлежности объектов к классам – размытым множествам. Однако значительно менее разработанными являются алгоритмы распознавания (классификации с обучением) размытых образов.

Анализ многочисленных человеко-машинных систем распознавания объектов с повышенной степенью рискованности (как, например, промышленные объекты со старым и изношенным оборудованием и пр.) показал, что классические модели и методы достигли определенного предела в улучшении их показателей. Общеизвестно противоречие между повышением показателей качества человеко-машинных систем за счет усложнения их моделей и программно-аппаратурной основы и снижением отказоустойчивости. Повышение степени интеллектуальности системы управления этими объектами позволяет в значительной мере преодолеть это противоречие.

В системе распознавания образов (СРО) и диагностирования, построенной с применением методологии искусственного интеллекта, основное ядро – база знаний (БЗ), наиболее удобно может быть организовано на основе продукционной модели знаний, имеющих конструкцию типа «ЕСЛИ <признаки>, ТО <решение>».

Основные требования, предъявляемые к интеллектуальным СРО: возможность работы в оперативном режиме; адаптируемость; быстрая приспособляемость к конкретным ситуациям, компактность реализации; возможность быть встроенными.

Наиболее адекватным классом СРО, отвечающим указанным выше требованиям, являются СРО, основанные на нейронных нечетких сетях (ННС) со смешанной базой [49, 162, 163].

БЗ реализована на основе нейронных сетей (НС), в связи с чем конструирование желаемой БЗ эквивалентно определению рациональной архитектуры и матрицы весовых коэффициентов синтезируемой НС.

Архитектура разрабатываемой НС представляет собой трехслойную «feedforward» структуру. Первый слой включает входные нейроны (узлы), средний состоит из скрытых, а последний – из выходных узлов.

Входные сигналы $y_j, j = \overline{1, n}$, появляясь на входе (синапсах) j -го нейрона, преобразуются в сигналы дендритов согласно нелинейной функции $f(w_{ji}, y_j)$. Здесь w_{ji} – весовые коэффициенты синапсов. Результирующий сигнал получается в результате комбинации (в частности, суммирования) в теле нейрона всех сигналов дендритов согласно нелинейной функции $u_j(f_{ji}), i = \overline{1, n}$. Этот сигнал поступает через аксоны на входы других узлов.

Синтез СРО на базе НС осуществляется следующим образом. Представим, что имеется совокупность продукционных правил, описывающая эталонное поведение синтезируемой СРО в виде [50]:

$$\left. \begin{array}{l} \text{IF } g = g_1 \text{ and } x = x_1 \text{ THEN } \dot{x} = \dot{x}_1, \\ \text{IF } g = g_2 \text{ and } x = x_2 \text{ THEN } \dot{x} = \dot{x}_2, \\ \dots\dots\dots \\ \text{IF } g = g_n \text{ and } x = x_n \text{ THEN } \dot{x} = \dot{x}_n \end{array} \right\} \quad (3.15)$$

Эталонная модель образа (объекта распознавания) есть $\dot{x}_m = h(x_m, g_m)$.

Представление этих знаний в БЗ заключается в обучении НС, т. е. для обучения НС используется рассогласование (ошибка) между выходами сети и эталона (образа), т. е. определении матрицы весовых коэффициентов w_{ij} и порогов нейронов p_j таким образом, чтобы при появлении каждой текущей ситуации (g_i, x_i) на входе системы получился соответствующий отклик \dot{x}_j на ее выходе согласно (3.15).

Отметим также, что в практике автоматизации процесса распознавания приходится сталкиваться с неопределенностью исходной информации и режима работы системы. Причем характер этой неопределенности таков, что использование СРО с детерминированными и стохастическими базами не обеспечивает требуемого качества процессов распознавания. Поэтому возникает необходимость создания интеллектуальных систем – ИСМУР, учитывающих неопределенности нечеткого характера, присущие процессам распознавания.

Представим, что объект распознавания (ОР) описывается в динамике в виде следующего дифференциального уравнения:

$$\dot{x}^* = f(x^*, u^*), x^* \in X, u^* \in U \quad (3.16)$$

или в виде совокупности нечетких продукций:

$$\left. \begin{array}{l} \text{IF } u^* = \text{OC and } x^* = \text{ОБ THEN } \dot{x}^* = \text{ПМ ELSE} \\ \text{IF } u^* = \text{ПС and } x^* = \text{ПБ THEN } \dot{x}^* = \text{ОМ ELSE} \\ \dots\dots\dots \\ \text{IF } u^* = \text{OC and } x^* = \text{ОБ THEN } \dot{x}^* = \text{ПМ ELSE} \end{array} \right\}, \quad (3.17)$$

где x^*, \dot{x}^*, u^* – базовые переменные соответственно нечетких множеств признаков, их изменения и параметры (управления); ОБ – отрицательно большое; ОС – отрицательно среднее; ОМ – отрицательно маленькое; НО – ноль; ПМ – положительно маленькое; ПС – положительно среднее; ПБ – положительно большое.

Задан эталонный переходной процесс синтезируемой системы в виде:

$$\left. \begin{array}{l} \text{IF } g^* = \text{ОБ and } x^* = \text{ОС THEN } \dot{x}^* = \text{ОМ ELSE} \\ \text{IF } g^* = \text{ОС and } x^* = \text{ОС THEN } \dot{x}^* = \text{НО ELSE} \\ \dots\dots\dots \\ \text{IF } g^* = \text{ПС and } x^* = \text{ПБ THEN } \dot{x}^* = \text{ОМ ELSE} \end{array} \right\} \quad (3.18)$$

Ставится задача синтеза ИСРО с нечеткой НС для идентификации и распознавания объекта (3.17), обеспечивающей желаемую нечеткую характеристику (3.18) системы. Нечеткая распознающая система строится на базе нечеткой НС, архитектура которой принимается в виде трехслойной «feedforward» структуры.

Входные терм-множества лингвистических переменных e и \bar{e} после масштабирования с коэффициентами $k_e, k_{\bar{e}}$ поступают на фазификатор, на выходе которого получаются нечеткие переменные \tilde{y}, \tilde{y}' с представлением LR -типа. Данные сигналы после умножения на нечеткие весовые коэффициенты \tilde{w}_{ij} суммируются для формирования результирующего сигнала, \tilde{w}_{ij} представляется в принятой модели как нечеткое число с LR -представлением. Порог, в отличие от обычного нейрона принят как \min . Аналогично функционируют нечеткие нейроны и других двух слоев. Теперь необходимо определить такие нечеткие значения \tilde{w}_{ij} , чтобы, как было отмечено выше, характеристика конструируемой системы регулирования совпала с желаемой (3.18). Для этого производится обучение НС с помощью алгоритма с использованием нечеткой арифметики, которая реализована на основе нечетких чисел ($L - R$) – типа [44].

Представим теперь распознающее решающее правило в виде преобразователя F формального описания X объекта в наименование его образа (класса): $y = F(X)$. Исходным материалом для синтеза решающего правила F служит информация, которая делится на два типа: априорная информация J о структуре решающего правила (источником этой информации обычно является человек); апостериорная информация I или обучающая выборка

$$I = \langle X_i, y_i \rangle (i = 1, \dots, N), \quad (3.19)$$

где X_i — описание i -го объекта этой выборки,

y_i — его принадлежность к одному из образов (классов), т. е. имя образа, к которому принадлежит X_i .

Решающее правило в общем случае является результатом преобразования этой информации некоторым алгоритмом Φ синтеза:

$$F = \Phi(J, I). \quad (3.20)$$

Таким образом, проблема синтеза всякого решающего правила сводится к созданию алгоритма Φ , способного эффективно учесть оба вида исходной информации: априорную J и апостериорную I .

Для гибридизации, как процесса синтеза Φ , используются готовые решающие правила. В качестве исходных блоков распознающие решающие правила рассмотрены двух типов: правила без обучения, структура и параметры которых не могут быть изменены, т.е. $y = f(X)$, и обучаемые правила, структура и параметры которых имеют возможность изменяться за счет смены обучающейся выборки I , т. е. $y = f'(X, I)$.

Удобство этих правил заключается также в простоте их синтеза, который обычно называют обучением. Сам процесс применяют обычно для параметрических решающих правил вида: $y = f''(X, C)$, где $C = (c_1, \dots, c_k)$ - вектор параметров, значения которых определяются на стадии обучения: $C = L(I, f'')$. Здесь L — оператор определения параметров C для правила f'' и обучающей выборки I .

В режиме обучения оператор L имеет рекуррентный характер и реализует подбор такого изменения параметров C_i , при котором неравенство $f''(X_i, C_i) \neq y_i$,

например, превращается в равенство или дефект неравенства уменьшается при изменении $C_l \rightarrow C_{l+1}$, где l — номер шага обучения.

Таким образом, исходные решающие правила для гибридизации могут быть как неизменяемые, так и изменяемые, т. е. корректируемые заданной обучающей выборкой (3.19).

Она заключается в таком использовании заданных исходных (базовых) решающих правил F_1, \dots, F_q , чтобы свойства полученного гибридного решающего правила превосходили свойства исходных решающих правил, т. е. «потомок» (гибрид) этих правил был бы в определенном заданном смысле лучше каждого из своих «родителей».

Обозначим гибридное правило $R(X)$. Оно может быть представлено в виде:

$R(X) = \varphi(F_1(X), \dots, F_q(X))$, где $F_i(X)$ — i -е базовое решающее правило, $F_i \in \{f, f', f''\}$; φ — алгоритм гибридизации этих правил. При этом гибридизация имеет смысл только при $R \succ F_i$ ($i = 1, \dots, q$), где знак предпочтения \succ определяется целями гибридизации, т. е. созданием правила, минимизирующего заданный критерий эффективности $Q = Q(F)$, который и выявляет предпочтение $R \succ F_i$, если $Q(R) < Q(F_i)$, ($i = 1, \dots, q$).

В качестве такого критерия естественно выбрать функционал вероятности ошибочной классификации. Принято считать, что объекты X_i ($i = 1, \dots, q$) и их принадлежность y_i (номер класса) появляются независимо и случайно в соответствии с некоторой совместной плотностью распределения $P(X, y)$. Тогда вероятность ошибочной классификации правилом F определяется функционалом среднего риска:

$$Q(F) = \int_{X, y} k(y - F(X)) P(X, y) dX, dy, \quad (3.21)$$

где функция k задается очевидным выражением $k(z) = \begin{cases} 0, & z = 0, \\ 1, & z \neq 0. \end{cases}$

Однако плотность $P(X, y)$ обычно априорно неизвестна и использование критерия (3.21) требует ее восстановления на базе обучающей выборки I , что не эффективно в реальном случае ограниченной длины N этой выборки.

Поэтому в качестве критерия эффективности используют функционал эмпирического риска, определяющий частоту ошибочной классификации:

$$Q_s(F) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k(y_i - F(X_i)).$$

Большинство формальных (неэкспертных) решающих правил распознавания p -классовой задачи могут быть представлены в виде: $y = \text{sig}\Psi(X)$,

где решающая функция sig имеет ступенчатый вид:

$$\text{sig} v = \begin{cases} 0, & v < a_1, \\ i, & a_i \leq v < a_{i+1} \quad (i = 1, \dots, p-2), \\ p-1, & a_{p-1} \leq v, \end{cases}$$

а пороги $a_1 < \dots < a_{p-1}$ являются параметрами этого правила, причем номера классов очевидны: $y \in \{0; 1; \dots; p-1\}$.

Теперь для формализованных решающих правил вида (3.21) гибридизацию можно представить в виде: $R(X) = \text{sig}\psi(\psi_1(X), \dots, \psi_q(X))$, где $\psi(\dots)$ является скалярной функцией гибридной свертки переменных, и задача синтеза гибридного решающего правила сводится к построению таких функций, а $\psi_i(X)$ — свертка i -го правила $F_i(X) = \text{sig}\psi_i(X)$ ($i = 1, \dots, q$).

Итак, гибридизация как метод синтеза новых решающих правил на основе имеющихся является процедурой синтеза свертки решений, входящих в гибрид, или правил, породивших эти решения.

Таким образом, проблема гибридизации при решении задачи распознавания сводится к синтезу нового правила $R(X)$, перерабатывающего не только данные об объекте X , но и о том, как к этому объекту относятся другие имеющиеся правила $F_1(X), \dots, F_q(X)$, причем исходной информацией для такого синтеза являются обучающая выборка I и априорные данные J , позволяющие определить состав исходных правил, критерий эффективности гибридного правила и другие обстоятельства, важные для эффективной гибридизации, т. е. имеем $R = \Phi^G(J, I)$, где Φ^G — здесь алгоритм гибридизации, а I и J — информация, необходимая для такой гибридизации:

$$J = \{F_1(X), \dots, F_q(X), Q(R), \dots\},$$

$$I = \langle X_i, y_i \rangle (i = 1, \dots, N).$$

Синтез гибридных решающих правил может опираться на весьма прозрачные аналогии, заимствованные из области коллективных решений, принимаемых в человеческих коллективах. Заметим также: гибридные решающие правила позволяют использовать для решения конкретных задач правила, созданные ранее для решения других задач распознавания; у гибридных правил существует четко выраженная преемственность с традиционными методами распознавания; коллективные гибриды позволяют объединять неформальные правила распознавания (экспертов), моделируя работу группы экспертов; гибридные правила распознавания позволяют решить ряд важных практических задач с точностью, превышающей традиционные методы распознавания.

В заключение, отметим важность учета распределенности параметров (т.е. местоположение системы) в модели как самой системы, так и канала наблюдений за состоянием изучаемой системы, а именно предполагается, что состояние системы можно описывать в виде системы дифференциальных уравнений с распределенными параметрами:

$$\frac{\partial C_{\nu\mu}(t, x)}{\partial t} = L_x [C_{\nu\mu}(t, x)] + W_{\nu\mu}(t, x),$$

где L_x — эллиптический оператор, а граничные и начальные условия можно задать в виде:

$$\Psi_x [C_{\nu\mu}(t, x)] + \xi = 0, x \in \partial X, t > t_0, C_{\nu\mu}(t_0, x) = C_{\nu\mu}^*(x),$$

где Ψ_x и ξ — соответствующие операторы граничных условий.

При этом уравнения наблюдений можно задать как

$$Y_{v\mu}(t, x) = HC_{v\mu}(t, x) + V(t, x)$$

или как

$$Y_{v\mu}(t, x_q) = HC_{v\mu}(t, x_q) + V(t, x_q), q = \overline{1, N},$$

где H — оператор наблюдения (лицо наблюдения — ЛН);

N — число точек размещения наблюдателей.

Тогда один из критериев оптимального размещения наблюдений эколого-экономических параметров производственной системы может быть представлен в следующей форме:

$$I = \int_{t_0}^T \{ \text{cov}[V(t, x), V(t, x)] \} dt \rightarrow \min .$$

3.8. Интегральная модель интеллектуального управления производственно-экономической системой, основанного на знаниях

К сложным системам относятся, в частности, производственно-экономических систем (ПЭС), которые в процессе своего функционирования в условиях нестабильностей внешней среды находятся в динамике и подвержены воздействиям как контролируемых, так и неконтролируемых факторов. Поэтому необходима разработка интегрированной системы интеллектуального управления с учетом многих переменных и параметров, а именно: экономических, экологических, технологических, информационных и т.д. Исходя из этого, можно сделать заключение об актуальности создания интегрированных интеллектуальных систем управления ПЭС, сочетающих в себе свойства традиционных систем, использующих "жесткие" модели и алгоритмы, и такие признаки интеллектуальных систем (систем основанных на знаниях), как наличие базы знаний (БЗ), дружелюбного интерфейса, логического вывода, самообучения.

В общем виде модели объекта управления и каналов передачи информации можно представить как (3.1), т.е. в виде следующих операторных уравнений:

$$F(x, u, w, a, t) = 0, y(t) = G(x, u, \xi, v, b, t), \quad (3.22)$$

где $x \in R^n$ - вектор состояния; $u \in R^r$ - вектор управления; $y \in R^m$ - вектор выходных переменных; w, v - векторы возмущений и помех (входящие в уравнения (3.8) как аддитивно, так и мультипликативно); a, b - векторы неопределённых параметров, причём $\dot{a}(t) = 0$ и $\dot{b}(t) = 0$; F, G - некоторые заданные операторы (дифференциальные, как обыкновенные, так и с частными производными, интегральные, интегро-дифференциальные, матричные и т.п.). В частности, в качестве (3.22) могут быть использованы стохастические дифференциальные уравнения (линейные или нелинейные, непрерывные или дискретные), уравнения в частных производных, например для случая учета территориального расположения производственных объектов. Функция x может удовлетворять некоторому

балансовому уравнению динамики $\frac{dx}{dt} = D[x]$, причем D есть эволюционный оператор, и он может иметь весьма сложную природу. Заметим, что оператор D зависит от вектора λ и случайных воздействий ξ , т.е. $D = D(\dots, \lambda, \dots, \xi)$.

В работе модели динамики заданы как $\dot{x} = F(x, u, v, \xi)$; $\dot{v} = g(v, t, \lambda)$, а уравнения наблюдений(измерений) в виде: $Y_x = h_x(x, \zeta_x, t)$, $Y_z = h_z(x, \zeta_z, t)$, причем:

$$\begin{cases} \dot{k} = g^k(k, m, N, \tau, z, \lambda), \\ \dot{m} = g^m(k, m, N, \tau, z, \lambda), \\ \dot{N} = g^N(k, m, N, \tau, z, \lambda), \\ \dot{\tau} = g^\tau(k, m, N, \tau, z, \lambda), \\ \dot{z} = g^z(k, m, N, \tau, z, \lambda). \end{cases} \quad (3.23)$$

где $x(t)$ – вектор состояния ПЭС, $x=(x_1, \dots, x_n)$; $y=y(t)$ – вектор выхода (продукция – полезный выход); $u=u(t)$ – вектор управляющих воздействий (переменных); $v=(k, m, I, \tau)$ – вектор входных переменных; $k=k(t)$ – вектор количественных переменных; $m=m(t)$ – вектор монетарных переменных (деньги, финансы по различным статьям, т.е. различные источники финансов); $N = N(t)$ – знания (информация); $\tau=\tau(t)$ – вектор технологий; $z=z(t)$ – вектор загрязнений (вредный выход).

В частности, модель динамики на основе факторов «Знания-Деньги» можно представить как

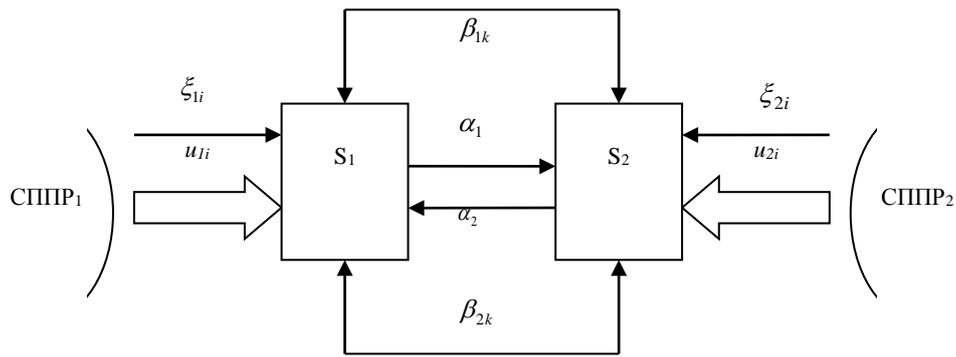
$$\begin{cases} \frac{dI_i}{dt} = \alpha_1 I_i M_i + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \beta_{1k} I_k - \gamma_1 I_i + \xi_{1i} + u_{1i}, \\ \frac{dM_i}{dt} = \alpha_2 I_i M_i + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \beta_{2k} M_k - \gamma_2 M_i + \xi_{2i} + u_{2i}, \end{cases} \quad (3.24)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \{\beta_{1k}\}, \{\beta_{2k}\}, \gamma_1, \gamma_2$ - неотрицательные константы;

I_i - информационный ресурс (база данных и знаний), используемый для i -й подсистемы (фирмы); M_i - общий капитал (деньги), имеющийся у i -й подсистемы (фирмы); ξ_{1i}, ξ_{2i} - внешние возмущающие воздействия; u_{1i}, u_{2i} - управляющие воздействия (решения); $I_{i0} \leq I_i \leq I_{is}$ - обычный диапазон имеющейся для нормального функционирования i -й подсистемы; $M_{i0} \leq M_i \leq M_{is}$ - необходимый объем капитала i -й подсистемы для нормального функционирования, причем: $\{I_{i0}, M_{i0}\}$ – необходимый минимальный объем ресурсов i -й подсистемы, а $\{I_{is}, M_{is}\}$ – пороговые значения ресурсов, за пределы которых i -я подсистема может быть разделена на несколько дочерних подсистем.

Соответствующая структура механизмов взаимодействий в системе представлена на рисунке 3.23.

Информационное взаимодействие



Конкурентное взаимодействие

Рис. 3.23. Механизм взаимодействия двух подсистем (фирм).

Отметим еще раз, что обобщенная синергетическая модель динамики нелинейной стохастической системы с хаотическим поведением имеет уравнение:

$$\dot{x}_i = \left[\lambda_i \xi_i(t) x_i(t) \left[X^0 \pm \sum_{j=1}^n a_{ij}(t) \prod_{k=1}^j x_k(t) \right] + \sum_{l=1}^3 d_{il} \frac{\partial^2 x_i}{\partial r_l^2} + w_i \right] + b_i u_i(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad \bar{x}_i(0) = x_{i0},$$

где $\langle \xi_i, w_i \rangle$ – стохастические возмущающие составляющие модели; $\{a_{ij}(t)\}$ – нестационарные составляющие модели; $\{d_{il}\}$ – диффузионные (распределяющие) коэффициенты; X^0 – предельная величина; λ_i – параметры хаотичности.

Итак, обобщенная структура информационной системы управления ПЭС представляется в следующем виде (рис. 3.24). Здесь используются следующие обозначения: СИУ – система интеллектуального управления, СППР – система поддержки принятия решений, Н/И – наблюдатель/измеритель, СОД – система обработки информации, СЭЭМ – система экономико-экологического мониторинга.

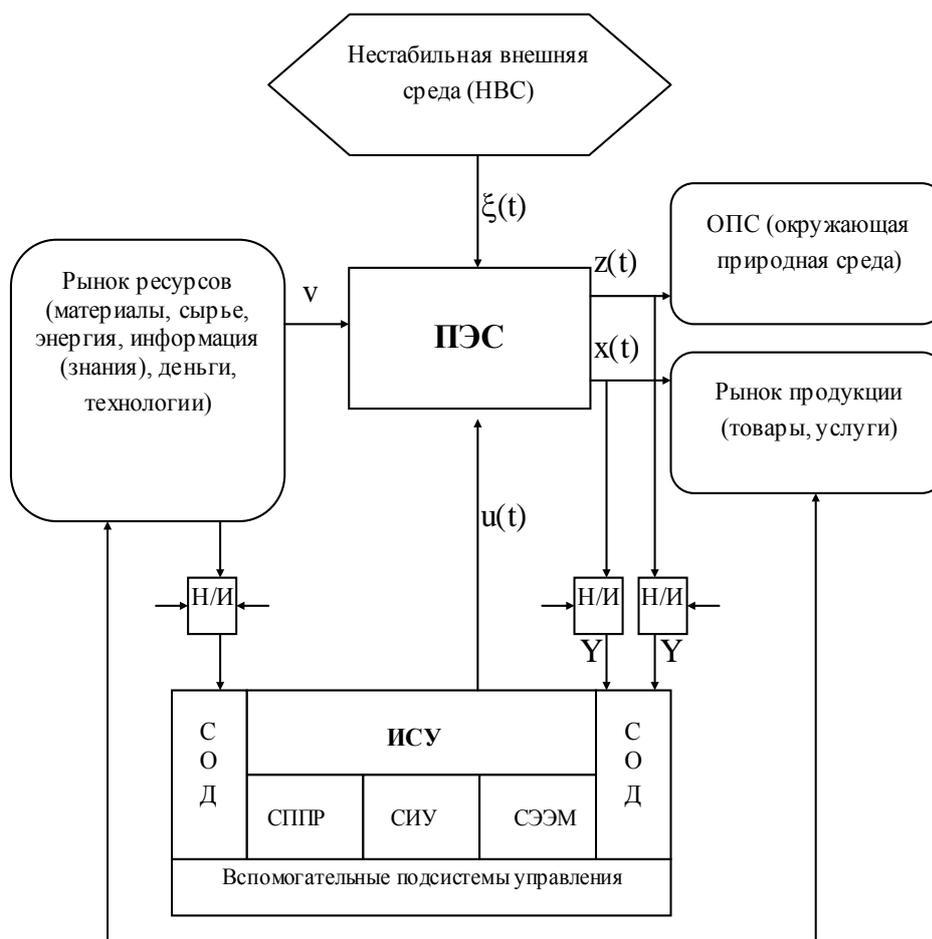


Рис. 3.24. Обобщенная структура информационного управления ПЭС

3.9. Нечеткая модель ПЭС в условиях коалиционного управления

Проблема принятия управленческих и других решений осложняется тем, что ее приходится решать в условиях неопределенности и нечеткой информации, причем неопределенность может носить различный характер. Неопределенными и нечеткими могут быть действия (решения) конкурирующих сторон, направленные на уменьшение эффективности принимаемых противником решений. При выборе решения в условиях нечеткой и неопределенной информации всегда присутствует фактор действия внешней среды. Поэтому исследование и разработка нечетких моделей экономических систем является актуальной.

Итак, рассмотрим некоторое множество Φ , состоящее из n фирм $\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n\}$, и множество $D(\Phi)$ всевозможных подмножеств Φ_k множества Φ , т. е. $\forall k \Phi_k \in \Phi$, а Φ_k - коалиция (кооперация) фирм. Заметим, что $\{\Phi_k\}$ - множество коалиций континуум, которое называется нечеткими коалициями.

Если Φ множество из n фирм, то можно иметь 2^n вариантов коалиций фирм. Характеристическая функция множества Φ_k есть отображение:

$$\Phi_k \in D(\Phi) \rightarrow \chi_{\Phi_k} \in \{0, 1\}^n,$$

где $\chi_{\Phi_k}(f) = \begin{cases} 1, & f \in \Phi_k \\ 0, & f \notin \Phi_k \end{cases}$. $f = (f_1, f_2, \dots, f_n)$

Поскольку $\{0,1\}^n$ - подмножество из R^n , то можно взять его выпуклую оболочку, которая представляет собой куб $[0,1]^n$.

Нечетким подмножеством (НМ) множества Φ называется всякий элемент μ из $[0,1]^n$, т.е. $\mu: f \in \Phi \rightarrow \mu(f) \in [0,1]$.

Число $\mu(f) \in [0,1]$ называется степенью принадлежности фирмы f нечеткому подмножеству $\mu(f)$.

Заметим, что если $\mu(f)=1$, то $f \in \Phi_k$, т. е. входит в коалицию; если $\mu(f)=0$, то $f \notin \Phi_k$; если $\mu(f) \in (0,1)$, то фирма f участвует в кооперации частично.

Отметим, что $\mu = \sum_{\Phi_k \in \mathcal{L}(\Phi)} m(\Phi_k) \chi_{\Phi_k}$, где $m(\Phi_k)$ - некоторая заданная мера, причем:

$$m(\Phi_k) \geq 0, \quad \sum_{\Phi_k \in \mathcal{L}(\Phi)} m(\Phi_k) = 1, \quad \mu(f) = \sum_{f \in \Phi_k} m(f).$$

Определение 3.1. Будем называть *обобщенной* коалицией n фирм всякий элемент f куба $[-1,1]^n$, или функцию $\mu: \Phi \rightarrow [-1,1]$, ставящую в соответствие каждому элементу f_i степень его участия в коалиции, т.е. $\mu(f_i) \in [-1,1]$.

Если $\mu > 0$, то участие фирмы интерпретируется как кооперативное, а если $f < 0$, то – некооперативное (конкурирующее).

Представим (как у психологов) каждой фирме $f_i \equiv i$ ($i=1, 2, \dots, n$) его поведенческую модель. Рассмотрим q поведенческих качеств $\{P_k, k=1, \dots, q\}$, каждое из которых снабжено единицей измерения. Предполагается также, что можно измерять (оценивать) каждое поведенческое качество с помощью действительного числа (положительного или отрицательного).

Поведенческая модель фирмы - это некоторый вектор $X = (x_1, \dots, x_q) \in R^q$, показывающий величину x_k каждого качества k -го, т.е. описание состояния фирмы есть вектор $x(t) \in R^q$. Пусть каждая фирма $f_i \in \Phi$ участвует в некоторой кооперации.

Определение 3.2. Рассмотрим n фирм, которые описываются своими характеристиками (поведенческими профилями) $X(t) \in R^n$. Социальной кооперацией (коалицией) называют всякую матрицу $C = \{c_{ik}\}$, описывающую степень участия $c_{ik} \in [-1,1]$ поведенческих качеств k для i -ой фирм f_i .

В этой матрице q столбцов представляют собой степени участия n фирм в кооперации. Множество всех социальных (поведенческих) коалиций, которые могут быть образованы, представляет собой гиперкуб $[-1,1]^{qn}$ размерности $(q \times n)$.

Если фирмы характеризуются при помощи поведенческих профилей $a_i = (a_{i1}, \dots, a_{iq})$, $i = \overline{1, n}$, то качества, применяемые во взаимодействии с социальной коалицией $C \in [-1,1]^{qn}$, равны $p_{ik} \equiv c_{ik} a_{ik} \in R^q \quad \forall i = \overline{1, n}$.

Рассмотрим теперь n фирм f_i , $i = \overline{1, n}$. Положим, что каждая фирма f_i воздействует на внешнюю среду (ВС). Опишем ВС как:

- замкнутое выпуклое подмножество L конечномерного векторного пространства X_j ;
- воздействие i -й фирмы на ВС непрерывное отображение $F_i : L \rightarrow X$.

Предположим также, что действие обобщенной коалиции $\mu \in [-1, 1]^n$ на ВС описывается непрерывным отображением $\sum \mu_i F_i : L \rightarrow X$.

Определение 3.3. Состояние ВС $\tilde{x} \in L$ и обобщенные коалиции $\tilde{\mu} \in [-1, 1]^n$ образует равновесие, если $\sum_{i=0}^n \tilde{\mu}_i F_i(\tilde{x}) = 0$.

Такое состояние \tilde{x} внешней среды не изменяется под действием обобщенной коалиции (кооперации) $\tilde{\mu} \in [-1, 1]^n$.

Теперь можно сформулировать следующую **теорему**.

Теорема. Пусть L – компакт и пусть:

$$\forall x \in L \exists c \in [-1, 1]^n \sum_{i=1}^n c_i f_i(x) \in T_L(x).$$

Тогда существует состояние \tilde{x} и коалиция $\tilde{\mu} \in [-1, 1]^n$, образующие равновесие [239].

Выводы по разделу 3

1. Разработана концепция создания и структура локальной системы эколого-экономического мониторинга промышленного предприятия (на примере углеобогатительных фабрик) на основе системного подхода и принципов максимальной интеграции, интеллектуализации, индивидуализации, широкого использования современных информационных технологий и учета неопределенности, нелинейности, нестационарности, нечеткости и т.д., а также многомерности, многокритериальности и т.п., т.е. при учете «НЕ–» и «МНОГО–» факторов при принятии управленческих решений на всех уровнях иерархии.

2. Предложена трехуровневая декомпозированная структура управления ОФ как большой и сложной системы для создания локальной системы эколого-экономического мониторинга и определены направления процессов интеграции и интеллектуализации управления ОФ на основе современных информационных технологий (т.е. компьютерных сетей, экспертных систем с различной базой знаний и т.п.).

3. Показано, что для создания ИАСУ ОФ целесообразно рассматривать ее как составную часть логистической системы, содержащей автоматизированную систему организационно-экономического и экологического управления с подсистемами менеджмента и экологического мониторинга, подсистему оперативно-диспетчерского управления, а также систему управления производственно-транспортным комплексом.

4. Разработаны требования и функции локальной компьютерной сети АРМ для ПС, на основании которых предложена ее обобщенная функционально-информационная структура, позволяющая создать интегрированную АСОЭ и ЭУ для ПЭС в целом.

5. Для управления сложными процессами производственно-транспортного комплекса обоснована необходимость и важность применения гибридных интеллектуальных регуляторов для ТП и интеллектуальных АРМ на основе нечеткой базы знаний для верхних уровней управления ОФ в СЭЭМ.

6. Разработана методика и алгоритм создания гибридных интеллектуальных систем, функционирующих в условиях смешанной неопределенности и позволяющих комбинировать традиционную количественную информацию с качественной трудноформализуемой информацией в виде лингвистических и нечетких переменных.

7. Разработаны принципы построения и алгоритмы принятия решений в системе диагностики кризисного состояния ПЭС.

8. Предложена концепция, методика и алгоритмы формирования интеллектуальной системы моделирования и управления экологическими рисками.

РАЗДЕЛ 4

МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ В ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ПЭС

Проблема разработки системы эколого-экономического моделирования и управления и принятия решений характеризуется многоаспектностью и иерархичностью и требует привлечения теории и методов современных информационных технологий, в том числе создания интегрированных автоматизированных систем на основе информационно-вычислительных сетей, интеллектуальных АРМ, а также методов адаптивного и интеллектуального управления технологическими процессами в реальном масштабе времени на базе комплекса технолого-экономических и экологических критериев.

4.1. Принципы выбора и формирования сложных критериев управления и принятия решений

Современная теория выбора и принятия решений опирается на два подхода (языка) – количественный (кардинальный) и качественный (ординальный). Количественный подход приписывает каждому возможному решению количественную оценку – число – значение некоторого векторного, в общем случае функционала (показателя качества решения). Однако этот подход не охватывает многих естественных ситуаций выбора и принятий решения. Существенно более широкие возможности приложения имеет ординальный (качественный или порядковый) подход к оценке решения. В последнее время все большее применение находит подход выбора и принятия решений на основе языка размытых критериев и моделей, как наиболее адекватным многим реальным сложным процессам и объектам.

В задачах идентификации, оценивания, управления и принятия решений, диагностирования и проектирования критерии качества описываются в следующем традиционном виде [174-177]:

$$F[x, u, p, a, w, d] \rightarrow \text{extremum}$$

при ограничениях

$$x \in X \subset R^n, u \in U \subset R^r, p \in P \subset R^k, a \in A \subset R^l,$$

где x – n – мерный вектор состояния,

u – r – мерный вектор управления и принятия решения,

p – k – мерный вектор проектных параметров,

a – l – мерный вектор параметров объекта, подлежащий оценке,

w – стохастические возмущающие воздействия,

d – неопределенные параметры, для которых задаются , например, области неопределенности ($d \in D$).

Здесь X, U, P, A – некоторые заданные допустимые области, соответственно для x, u, p, a , а R – соответствующее евклидово пространство. Заметим также, что в

общем случае F является вектором, т.е. $F = (f_1, f_2, \dots, f_m)$, где $\{f_i\}$ – обычные частные критерии или же соответствующие функции принадлежности целей, ограничений и их композиций, согласно методов теорий нечетких моделей и принятия решений.

Конкретный выбор критерия качества определяется многими факторами, а именно: спецификой решаемой задачи, характером и сложностью объекта, опытом исследователя (разработчика), объемом исходной априорной и апостериорной информации, а также простотой и реализуемостью предлагаемых алгоритмов.

Для выбора соответствующего критерия можно основываться на следующих принципах:

- принцип компромиссов, т.е. компромисс между адекватностью и математической простотой, практической полезностью, удобством и простотой реализации на практике;

- принцип информационной недостаточности и неопределенности, т.е. отсутствие точной информации приводит к необходимости выбора критерия, подчиняющегося математической и программной простоте реализации;

- принцип относительности критерия, т.е. отсутствие общепрактических рекомендаций и соображений предпочтительного выбора критерия из возможного класса критериев – это определенное искусство в системотехнологии;

- принцип человеческого фактора, здравого смысла и опыта исследователя;

- принцип развития, т.е. необходимости и важности учета современных подходов описания расплывчатых и смешанных информационных неопределенностей;

- принцип отсутствия и относительности оптимального критерия эффективности и качества (возможно и есть правила для выбора приемлемого критерия, а есть ли правила выбора этих правил?).

Отметим также, что при выборе функции цели необходимо учесть некоторые очевидные свойства, например, если $J[e]$ является соответствующей функцией (функционал), где e – погрешность приближения, то необходимо выполнения следующих условий: $J[0]=0$, $J[e] \geq 0$, $J[-e]=J[e]$. При этом желательно, чтобы $J[\cdot]$ была выпуклой функцией.

В теории статистических решений и современной теории управления исследованы и получены важные результаты на основе выбора ряда новых критериев оптимальности [145,146].

Рассмотрим некоторые варианты критериев для исследуемых в данной работе проблем.

Пусть $C(x) = \sum_{i=1}^n C_i(x)$ – суммарная концентрация от всех источников загрязнения ОФ, $C_i(x)$ – концентрация от i -го источника загрязнения, x – вектор технолого-экономических параметров. Тогда чисто экологический критерий можно представить в виде:

$$\|C(x) - C^*\| \rightarrow \min \quad \text{или} \quad x = \arg \min \|C(x) - C^*\|,$$

где C^* – предельно допустимая концентрация загрязнителя. Экономический критерий в общем виде можно задать как

$$Z = \mathcal{E}_p + E_H - S_y + Y \rightarrow \min,$$

где Z – общегодовые затраты, \mathcal{E}_p – годовые эксплуатационные расходы очистных и природоохранных сооружений и приборов, K – капитальные затраты на строительство природоохранного оборудования, E_H – нормативный коэффициент эффективности инвестиций на природоохранные мероприятия, S_y – общая стоимость утилизированного продукта, Y – ущерб, нанесенный выбросами вредных веществ ОФ на ОПС (по каждому ингредиенту).

Таким образом, можно получить эколого - экономический критерий как комбинацию (кортеж) вида

$$\langle C, Z \rangle \rightarrow \min$$

при условии $\Omega = \{x | C(x) \leq C^*, Z(x) \leq Z^*\}$, где Z^* – максимально возможные затраты, Ω – область допустимых решений.

Поскольку разрабатываемая система представляет собой трехуровневый интегрированный комплекс, состоящий из автоматизированных подсистем организационно-экономического, диспетчерского управления процессами переработки угля, она реализуется на основе информационно-вычислительной локальной сети АРМ верхних уровней с единой базой данных и знаний и локальных регуляторов процессов.

Каждый уровень управления и принятия решений определяется соответствующей тройкой:

$$T_i = \langle X_i^0, R_{0i}, J_{0i} \rangle - \text{для 0-го технологического уровня,}$$

$$D_j = \langle X_j^1, R_{1j}, J_{1j} \rangle - \text{для 1-го диспетчерского уровня,}$$

$$S_k = \langle X_k^2, R_{2k}, J_{2k} \rangle - \text{для 2-го верхнего(системного) уровня,}$$

где $\{X_i^0, i = \overline{1, mt}\}, \{X_j^1, j = \overline{1, md}\}, \{X_k^2, k = \overline{1, ms}\}$ – соответствующие множества альтернатив (вариантов решений);

$\{R_{0i}\}, \{R_{1j}\}, \{R_{2k}\}$ – соответствующие отношения на множествах

$X^0, X^1, X^2; \overline{J_0} = \{J_{0i}\}, \overline{J_1} = \{J_{1j}\}, \overline{J_2} = \{J_{2k}\}$ – соответствующие совокупности критериев, причем

$$\overline{J_0} \subset \overline{J_1} \subset \overline{J_2} \quad \text{и} \quad \overline{J_2} = g(\overline{J_0}, \overline{J_1}),$$

где g – функция агрегирования критериев.

В соответствии с разработанной концепцией создания ИАСУ ОФ для СЭЭМ существенно изменяются подходы к автоматизации технологических процессов, в первую очередь в части используемых критериев. В частности, используемый до настоящего времени критерий управления технологическими процессами максимизации прибыли (максимизации стоимости реализованной продукции) с ограничением на зольность суммарного концентрата целесообразно дополнить ограничениями в части допустимых потерь концентратных фракций с отходами

обогащения и допустимой концентрации вредных компонентов, выбрасываемых в атмосферу. При этом следует учесть необходимость перехода на рыночные отношения, что отразится прежде всего на порядке формирования цен на концентрат и требованиях к его качеству.

Однако требования к критерию управления фабрикой в подавляющем большинстве остаются прежними. Это необходимость непрерывного вычисления критерия по оперативно измеренным параметрам процессов, тесная связь его с результатами экономической деятельности предприятия, а также определённый физический смысл, что позволяет управлять фабрикой в реальном масштабе времени.

4.2. Обобщенный технолого-экономический и экологический критерий управления ПЭС

Общесистемные критерии. Все частные критерии управления отдельными процессами и производствами могут иметь технологический характер, но не противоречить общесистемному критерию.

При таком подходе к формированию критерия концепция управления сводится к следующему:

1) формируется критерий управления по измеренным значениям технологических, экономических и экологических параметров;

2) оптимизируется производственная деятельность фабрики по сформированному критерию управления;

3) контролируются эколого-экономические параметры, и при превышении допустимых норм принимаются меры к снижению концентрации вредных веществ путем снижения производительности, оптимизации режимов работы локальных процессов и др.;

4) ведется интегральный учет выбросов загрязняющих веществ с начала года и при необходимости вводится коррекция на допустимую их текущую концентрацию;

5) контролируются текущие значения концентрации вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, не допуская превышения их предельных значений, например, путем изменения уставок.

Кроме того, критерий управления должен учитывать требования зарождающихся рыночных отношений (например, при торговле с зарубежными странами), а также затраты на производство и модернизацию оборудования и технологии с целью достижения экологической чистоты.

Тогда при существующей системе формирования цены угольной продукции удельный (текущий) критерий управления можно принять в следующем виде:

$$\forall t \geq t_0, x_0 \in X : \Phi(t, x) = dQ_\phi(t) \overline{P}_1(t, x_0) \rightarrow \max, \quad (4.1)$$

где $Q_\phi(t)$ – производительность ОФ в момент времени t ;

$\overline{P}_1(t, x_0)$ – чистая прибыль (усредненная из-за наличия случайных факторов);

d – общий коэффициент размерности (пропорциональности), причем

$$\overline{P}_1(t, x_0) = P_{1\Sigma}(t) - R(t, x_0) - K(t) - G(t), \quad (4.2)$$

где

$$P_{1\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^{n_k} \partial_{ki} \cdot \dots \cdot ki^* [1 - \lambda(A_{ki}^d(t) - A_{ki}^{d*})] + \sum_{j=1}^{n_n} \partial_{nj} \cdot \dots \cdot nj^* [1 - \lambda(A_{nj}^d(t) - A_{nj}^{d*})] \quad (4.3)$$

суммарная цена всей продукции ОФ ;

$$R(t, x_0) = \sum_{\nu=1}^{n_0} \sum_{\mu=1}^{m_0} r_{\nu\mu}(t) \{n_{\nu\mu}(t) C_{\nu\mu}(t, x_0) \times \\ \times \left[[C_{\nu\mu}^*(t, x_0) - C_{\nu\mu}(t, x_0)]_+ + k_0 [C_{\nu\mu}(t, x_0) - C_{\nu\mu}^*(t, x_0)] \right] \} \quad (4.4)$$

суммарные расходы ОФ на все экологические штрафы в данный момент t и в точке размещения средств измерений (СИ) x_0 окрестности X ОФ с учетом коэффициента прогрессивного штрафа k_0 (в настоящее время $k_0 = 5$);

$$K(t) = \sum_{s=1}^{m_0} K_s(t) + K_0(t) \quad (4.5)$$

суммарные капитальные затраты на производственные расходы и модернизацию;

$$G(t) = \sum_{s=1}^{m_0} \Pi_{os}^* \gamma_s(t) \quad (4.6)$$

суммарная стоимость потерь концентрата с отходами; $\gamma_s(t)$ – потери концентрата с отходами; Π_{os}^* – цена единицы потерь концентрата; n_K, n_{II} – количество потребителей концентрата и промпродукта различного качества (зольности); n – количество загрязнителей; m_0 – число учитываемых ТП; $\lambda = 0.025$ – коэффициент скидок и надбавок за отклонение зольности от преysкурантной цены; Q_ϕ – производительность фабрики; Γ_{ki} – выход концентрата i -го качества, подлежащего реализации; Π_{ki}^* – договорная цена единицы массы концентрата i -го качества; A_{ki}^d, A_{ki}^{d*} – соответственно текущая и заданная (договорная) зольность концентрата; Γ_{IIj} – выход промпродукта j -го качества; Π_{IIj}^* – договорная цена единицы массы промпродукта j -го качества; A_{IIj}^d, A_{IIj}^{d*} – соответственно текущая и заданная (договорная) зольность промпродукта; $r_{\nu\mu}$ – коэффициент пропорциональности, учитывающий степень загрязнения по ν -му компоненту; $C_{\nu\mu}$ – текущая концентрация ν -го загрязнителя; $C_{\nu\mu}^*$ – заданная (допустимая) концентрация ν -го загрязнителя; $\Pi_{\nu\mu}$ – тарифная плата за загрязнение атмосферы ν -м вредным веществом;

$$[C_v^* - C_v]_+ = \begin{cases} 1 \text{ нпу} & C_v^* \geq C_v, \\ 0 \cdot \text{нпу} & C_v^* < C_v; \end{cases} \quad [C_v - C_v^*] = \begin{cases} 1 \text{ нпу} & C_v > C_v^*, \\ 0 \cdot \text{нпу} & C_v \leq C_v^*; \end{cases} \\ \partial_{ki}^* = \dots_{ki}^n [1 - \lambda(A_{ki}^d - A_{ki}^{d*})]; \dots_{nj}^* = \dots_{nj}^n [1 - \lambda(A_{nj}^d - A_{nj}^{d*})]$$

где Π_{ki}^n, Π_{IIj}^n – цена концентрата и промпродукта, $A_{ki}^{d*}, A_{IIj}^{d*}$ – зольность концентрата и промпродукта по преysкуранту соответственно.

Следовательно, интегральный критерий при этом можно записать как функционал:

$$\forall t \geq t_0; x_0 \in X; \Phi_0(t, x_0) = \int_t^T \Phi(\tau, x_0) d\tau \rightarrow \max. \quad (4.7)$$

Ограничения на качество концентрата и потери угля с отходами обогащения можно задать в виде следующих неравенств :

$$A_{ki}^d = \frac{\sum_{s=1}^p \Gamma_{kis} A_{kis}^d}{\sum_{s=1}^p \Gamma_{kis}} \leq A_{ki}^{d*},$$

где Γ_{kis}, A_{kis}^d – соответственно выход и зольность концентрата S – го машинного класса; A_{ki}^d, A_{ki}^{d*} – соответственно текущая и заданная (допустимая) зольность общего концентрата i-го качества; p – количество машинных классов ($p=2,3$);

$$\gamma_{\Sigma}(t) = \sum_{s=1}^p \gamma_s \leq \gamma_{\Sigma}^*,$$

где $\gamma_{\Sigma}(t)$ – текущие потери концентрата с отходами обогащения; γ_s – потери с S -м машинным классом; γ_{Σ}^* – заданные (допустимые) суммарные потери концентратных фракций.

Ограничения на среднюю концентрацию загрязнителей будут иметь вид:

$$\bar{C}_{v\mu}(t, x_0) = E\{C_{v\mu}(t, x_0)\} \leq C_{v\mu}^*,$$

где $\bar{C}_{v\mu}, C_{v\mu}^*$ – текущее и заданное (допустимое) значения концентрации ν -го загрязнителя соответственно.

В случаях продажи угля странам дальнего зарубежья из-за наличия определенного заказа принцип формирования цены может быть иным, т.е.

$$C_{ki} = C_{ki}^{d*} [A_{ki}^{d*} - A_{ki}^d]_+,$$

где C_{ki}^{d*} – договорная цена по заказу на экспорт.

Критерий управления фабрикой в этом случае также изменится, т.е. в формуле (4.2) вместо $P_{1\Sigma}$ будем иметь $P_{2\Sigma}$:

$$P_{2\Sigma} = \sum_{i=1}^{n_k} \Gamma_{ki} C_{ki}^{d*} [A_{ki}^{d*} - A_{ki}^d(t)] + \sum_{j=1}^{n_{\Pi}} \Gamma_{\Pi j} C_{\Pi j}^* [A_{\Pi j}^{d*} - A_{\Pi j}^d(t)]$$

Укажем также на важность и возможность наличия критерия оптимального размещения средств измерения, наблюдения и мониторинга эколого-экономических параметров, как показано, например, в п. 3.7.

4.3. Локальные критерии управления ПЭС

Критерии управления локальными технологическими процессами не должны противоречить глобальному критерию управления фабрикой.

Критерии управления л о к а л ь н ы м и технологическими процессами представим в следующем виде:

1. У г л е п о д г о т о в к а. Критерии: стабилизация долевого участия q шахтогруппы в шихте при ограничении на выбросы пыли в атмосферу, стабилизация нагрузки Q на фабрику по исходному углю:

$$q_j^* = const, q_j^* = Q_j^* / Q^* = Q_j^* / \sum_{j=1}^p Q_j^* ;$$

$$Q_q \leq Q^* \{1 - k(C_1 - C_1^*) \operatorname{sgn}[C_1 - C_1^*]\}, j = 1, 2, \dots, p,$$

где

$$\operatorname{sgn}[z] = \begin{cases} 1 \cdot nnp & z > 0, \\ 0 \cdot nnp & z \leq 0; \end{cases}$$

C_1, C_1^* – текущее и допустимое значение концентрации по пыли;

Q – заданная (общая) производительность ОФ;

k – штрафной коэффициент;

Q_q – допустимая производительность углеподготовки.

2. К о м п л е к с процессов обогащения. Критерий: максимум выхода концентрата при ограничениях на его зольность и суммарные потери с отходами:

$$\Gamma_k = \sum_{i=1}^{n_k} \Gamma_{ki} \rightarrow \max; A_k^d = \sum_{i=1}^{n_k} \Gamma_{ki} A_{ki}^d / \sum_{i=1}^{n_k} \Gamma_{ki} \leq A_k^{d*};$$

$$\gamma_n = \sum_{i=1}^{n_k} \gamma_{ni} \leq \gamma_n^*.$$

2.1. О б о г а щ е н и е в м и н е р а л ь н о й с у с п е н з и и

Критерий: стабилизация заданной зольности концентрата при ограничениях на его потери с отходами :

$$A_{k1}^d \leq A_{k1}^{d*} = const, \gamma_{n1} \leq \gamma_{n1}^*.$$

2.2. О б о г а щ е н и е о т с а д к о й

Критерий: стабилизация заданной зольности концентрата при ограничениях на потери с отходами и зольность отходов:

$$A_{k2}^d \leq A_{k2}^{d*} = const, \gamma_{n2} \leq \gamma_{n2}^*, A_{02}^d \geq A_{02}^{d*} .$$

2.3. Ф л о т а ц и я

Критерий: стабилизация заданной зольности флотоконцентрата при ограничениях на зольность отходов:

$$A_{k3}^d \leq A_{k3}^{d*} = const; A_{03}^d \geq A_{03}^{d*} .$$

3. О б е з в о ж и в а н и е флотоконцентрата.

Критерии: минимизация влажности кэка при согласованности производительности флотационного и фильтровального отделений:

$$W_1 \rightarrow \min, Q_{\phi o} = Q_{\phi c} .$$

4. С у ш к а концентрата.

Критерии: стабилизация заданной влажности концентрата и максимизация КПД и производительности при ограничениях на выбросы $\{C_i\}$:

$$W_2 = W_2^* = const, \eta \rightarrow \max, Q_c \rightarrow \max, C_i \leq C_i^*, i = 1, 2, \dots, 5,$$

$$Q_c \leq (1 - \xi^0) Q_c^*, \xi^0 = \sum_{i=1}^5 K_i^* (C_i^* - C_i) \operatorname{sgn}[C_i^* - C_i]$$

где K_i^* – коэффициент, учитывающий плату за выбросы (штрафной коэффициент);

Q_c, Q_c^* – текущая и заданная производительность сушильной установки;

C_1 – пыль, C_2 – зола, C_3 – CO, C_4 – NO, C_5 – SO.

5. Внутренний трубопроводный транспорт (водно-шламовая система).

Критерии: поддержание содержания твердого β в оборотной воде при ограничении на плотность сгущенного продукта: $\beta \leq \beta^*, \rho \leq \rho^*$, где β^* и ρ^* – заданные величины содержания твердого и плотности. Поскольку транспортная подсистема является одной из важных в ИАСУ ОФ, то необходимо также сформировать основные критерии планирования и управления входного, выходного транспортного потока, а также транспортного потока для породного комплекса.

6. Входной транспортный поток. Под входным транспортным потоком подразумевается ж/д транспорт, а также трубопроводный, конвейерный и смешанный. Пусть T_1^i – время приема под разгрузку ж/д состава с р/у; T_2^i – время расцепления вагонов ж/д состава; T_3^i – время разгрузки ж/д состава; T_4^i – время формирования порожняка (своего и МПС).

Тогда общее время обслуживания входного потока есть $T^i = \sum_{k=1}^v T_k^i$.

Критерий: $T^i \rightarrow \min$ при $T^i \leq T^{i*}$ – нормативное (заданное) время обслуживания.

7. Выходной транспортный поток.

Пусть T_1^0 – время подачи состава под погрузку и расцепку (своего и МПС); T_{2j}^0 – время погрузки и взвешиваний j -го вагона $j=1, \dots, k$; k – количество вагонов в составе); причем $T_2^0 = \sum_{j=1}^k T_{2j}^0$ – соответствующее суммарное время; T_3^0 – время формирования состава для отправления.

Тогда общее время обслуживания всего выходного потока реализации товарного продукта есть $T^0 = T_1^0 + T_2^0 + T_3^0$

Критерий: $T^0 \rightarrow \min$ при $T^0 \leq T^{0*}$ – заданное (нормативное) время обслуживания выходного потока.

8. Породный комплекс. Пусть n – общее количество всех необходимых транспортных единиц: $n = \sum_{i=1}^N n_i$, где n_i – количество однотипных транспортных единиц; N – количество групп транспортных единиц; g_i – грузоподъемность транспортной единицы i -ой группы; r_{ji} – количество рейсов в смену j -ой транспортной единицей i -ой группы, причем $j=1, \dots, n$.

Тогда $V_j = \sum_{i=1}^N g_i r_{ji}$ – производительность j-ой транспортной единицы; $V_0 = \sum_{j=1}^n V_j$

– производительность (объем) перевозок всеми транспортными единицами в смену;

V_0, V_0^* – текущий и нормативный объем породных отходов, вывозимых в отвал; C_{ji}

– стоимость одного рейса j-ой транспортной единицы i-ой группы, а

$C_0 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N r_{ji} C_{ji} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n r_{ji} C_{ji}$ – общая стоимость всех транспортных перевозок

породы .

Критерий: требуется оценить возможное минимальное значение n из условий:

$$C_0 = \sum_{j=1}^n C_j \rightarrow \min \text{ при } V_0 \geq V_0^* \quad \text{или} \quad f(n_1, n_2, \dots, n_N) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n r_{ji} C_{ji} \rightarrow \min \text{ по}$$

всем $\{n_i\}$ при фиксированном N и $n = \sum_{i=1}^N n_i, V_0 \geq V_0^*$.

Приведенные задачи относятся к переборным (комбинаторным), однако для их решения работе предложен более адекватный подход – метод имитационного моделирования.

4.4. Критерии управления ПЭС с типовыми технологическими процессами

Существующие в настоящее время системы оперативного управления углеобогатительными фабриками не удовлетворяют возросшим требованиям экологической безопасности, поскольку в качестве критериев используются чисто технико-экономические показатели (производительность, себестоимость продукции и др.), вытекающие из необходимости максимизации прибыли без учета степени загрязнения окружающей среды. Такие критерии не стимулируют развитие экологически чистых технологий, соответствующих аппаратов, машин и систем управления, не способствуют снижению уровня загрязнения окружающей среды вредными выбросами и отходами производства. Поэтому возникает проблема разработки эколого-экономических критериев управления, в формировании которых важная роль принадлежит законодательным и контролирующим органам государства в части выработки нормативов уровней допустимых выбросов и платы за них штрафов за превышение санитарных норм загрязнения, а также действенного контроля за их соблюдением.

Для оперативного управления фабрикой необходима разработка эколого-экономического критерия управления (ЭЭК), учитывающего экологическую безопасность и экономическую целесообразность работы. Наиболее эффективно такой критерий можно реализовать в составе ИАСУ, содержащей подсистему экологического мониторинга, управления и принятия решений по экологической безопасности и экономической эффективности как одной из основных подсистем.

ЭЭК должен учитывать также изменения в экономике, связанные с трансформацией и переходом к рыночным отношениям, их переходным формам, в

частности, необходимость перестройки технологий к изменяющимся требованиям рынка в части показателей качества.

Рассмотрим один из подходов к формированию такого критерия для оперативного управления фабрикой в реальном масштабе времени. Для этих целей критерий должен допускать его формирование по оперативно измеренным технологическим и экологическим показателям и параметрам. Такой критерий можно получить из общепринятого экономического критерия прибыли, если принять следующие допущения:

1) затраты на производственные расходы и модернизацию не изменяются в течение принятого интервала управления (смена, сутки и т.п.);

2) количество выбрасываемых в атмосферу угольной пыли и золы пропорциональны количествам (производительности) перерабатываемого угля соответствующим комплексом;

3) концентрация вредных газов, выбрасываемых в атмосферу сушильными установками, пропорциональна производительности процесса сушки по сырому углю.

При указанных допущениях ЭЭК оперативного управления фабрикой может быть принят как стоимость произведенной продукции в единицу времени [103,123]:

$$\Phi = Q \left\{ \sum_{i=1}^n \Gamma_i C_i - \sum_{j=1}^m r_j \sum_{v=1}^p \xi_{jv} \pi_{jv} [C_{jv} + (k-1) \times \right. \\ \left. (C_{jv} - C_{jv}^*) \operatorname{sgn}(C_{jv} - C_{jv}^*)] \right\} \operatorname{sgn} \prod_{v=1}^p [M\{C_{jv}\} - C_{jv}^{**}] \quad (4.8)$$

где

$$\operatorname{sgn}(C_{jv} - C_{jv}^*) \triangleq \begin{cases} 1 \cdot npi & C_{jv} > C_{jv}^* \\ 0 & npi & C_{jv} \leq C_{jv}^* \end{cases};$$

$$C_i = C_i^* \{ [1 - \lambda_1 (A_{ki}^d - A_{ki}^{d*})] [1 - \lambda_2 (W_i - W_i^*)] \};$$

$$M\{C_{jv}\} \leq C_{jv}^*; \gamma_{\Sigma}^* \leq \sum_{j=1}^m \gamma_j = \gamma_{\Sigma}; A_{ki}^d = \frac{\sum_{s=1}^q \Gamma_{is} A_{kis}^d}{\sum_{s=1}^q \Gamma_{is}} \leq A_{ki}^{d*};$$

$$\operatorname{sgn}[M\{C_{jv}\} - C_{jv}^{**}] \triangleq \begin{cases} 1 \cdot npi & M\{C_{jv}\} < C_{jv}^{**} \\ 0 \cdot npi & M\{C_{jv}\} \geq C_{jv}^{**} \end{cases};$$

Q – производительность фабрики по рядовому углю, т/ч;

Γ_i – выход концентрата (промпродукта) i -го качества, %;

C_i, C_i^* – соответственно цена концентрата (промпродукта) i -го качества, фактическая и заданная, грн/т;

Γ_{ip} – выход p -го товарного продукта i -го качества, %;

q – количество товарных продуктов, образующих концентрат i -го качества;

A_{ki}, A_{ki}^* – соответственно фактическая и заданная (договорная) зольность i -го товарного продукта, %;

$\gamma_{\Sigma}, \gamma_{\Sigma}^*$ – соответственно суммарные фактические и заданные потери легких фракций с отходами обогащения с потерями $\gamma_j, j = \overline{1, m}, \%$;

r_j – коэффициент, учитывающий производительность j -го технологического комплекса;

$\xi_{j\nu}$ – коэффициент пропорциональности между концентрацией ν -го загрязнителя и производительностью j -го комплекса;

W_i, W_i^* – соответственно текущая и заданная влажность i -го концентрата, %;

$C_{j\nu}, C_{j\nu}^*$ – соответственно текущая концентрация ν -го загрязнителя j -го процесса и его заданное (допустимое) значение, %;

$\pi_{j\nu}$ – тарифная плата за выбросы ν -го вредного компонента j -го комплекса в пределах допустимой концентрации, грн/т;

k – коэффициент, учитывающий штрафы за превышение норм выбросов;

λ_1 – коэффициент скидок и надбавок при отклонении зольности и влажности от заданных значений соответственно;

n, m, ρ, q – соответственно количество товарных продуктов, технологических комплексов, вредных веществ и машинных классов концентрата, образующих смесь i -го качества;

$C_{j\nu}^{**}$ – допустимая норма средней концентрации вредного ν -го вещества, %;

M – оператор математического ожидания.

В случае договорной цены при рыночных отношениях выражение для ее определения отличается от приведенной в (4.8):

$$C_i = C_i^* \operatorname{sgn}(A_{ki}^d - A_{ki}^{d*}) \operatorname{sgn}(W_i - W_i^*), \quad (4.9)$$

где C_i^* - договорная цена; $\operatorname{sgn}(A_{ki}^d - A_{ki}^{d*}) = \begin{cases} 1 \cdot n_{pi} & A_{ki}^d \leq A_{ki}^{d*}, \\ 0 \cdot n_{pi} & A_{ki}^d > A_{ki}^{d*}; \end{cases}$

$$\operatorname{sgn}(W_i - W_i^*) = \begin{cases} 1 \cdot n_{pi} & W_i \leq W_i^*, \\ 0 \cdot n_{pi} & W_i > W_i^*; \end{cases}$$

Порядок формирования цены товарных продуктов влияет на тактику и стратегию управления: если при (4.8) допустимы небольшие отклонения от заданной зольности в ту или другую стороны, то при (4.9) отклонения допустимы лишь в меньшую сторону, что не всегда выгодно для фабрики. В этом случае цена не зависит от зольности, а продукт образуется при превышении договорной величины.

Критерий (4.8) содержит две переменные качества обогащаемого угля: зольность и выход концентрата, связанные между собой β -кривой обогатимости, поэтому для исследования характера изменений критерия управления при изменении исходного качества рядового угля (гранулометрический и фракционный составы) целесообразно выразить его в качестве функции одной переменной – зольности.

В качестве экологических параметров можно рассматривать 6 компонентов ($\nu=6$): выбросы пыли аспирационными установками (C_1) (углеприем, обогатительный цех, погрузка и др.), выбросы угольной пыли (C_2), золы (C_3), диоксида азота (C_4), диоксида серы (C_5) и оксида углерода (C_6) сушильным отделением и котельной установкой фабрики.

Целью управления фабрикой является максимизация критерия (4.8), поэтому исследуем его поведение при изменении характеристик обогащаемого угля. Для этого критерий управления (4.8) можно упростить, если рассматривать удельную стоимость на единицу производительности, например на 1 т/ч. Тогда критерий становится инвариантным к производительности и отражает только качество функционирования фабрики по оперативно измеренным значениям зольности товарных продуктов и концентрации выбрасываемых в окружающую среду вредных веществ:

$$\begin{aligned} \Phi_1 = & \sum_{i=1}^n U_{ni}^* \left[a_{i1} + a_{2i} A_{ki}^d + a_{i3} (A_{ki}^d)^2 \right] \times \\ & \times \left[1 - \lambda_1 (A_{ki}^d - A_{ki}^{d*}) \right] - \left\{ \sum_{j=1}^m r_j \sum_{\nu=1}^{\rho} \xi_{j\nu} \pi_{j\nu} [C_{j\nu} + (k-1) \times \right. \\ & \left. \times (C_{j\nu} - C_{j\nu}^*) \operatorname{sgn}(C_{j\nu} - C_{j\nu}^*)] \right\} \operatorname{sgn} \prod_{j=1}^{\rho} [M\{C_{j\nu}\} - C_{j\nu}^{**}] \end{aligned}$$

где U_{ni}^* – цена угля по преискуртанту при зольности A_{ki}^{dn} и влажности w_i^n .

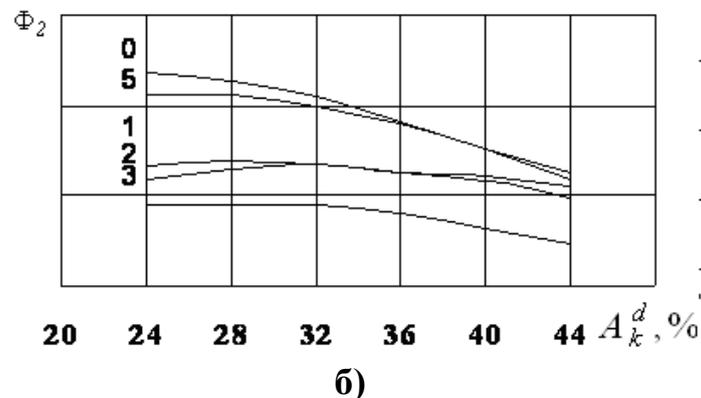
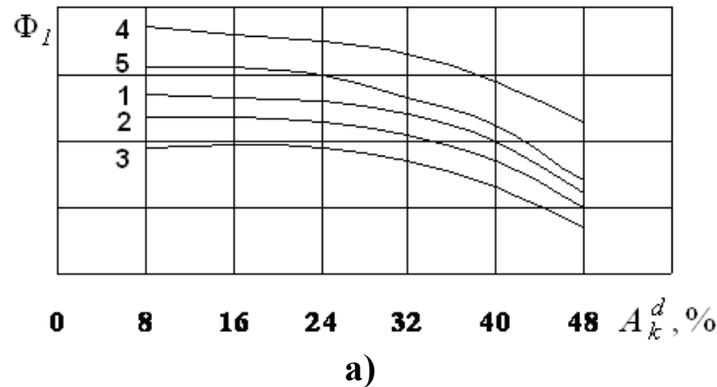


Рис. 4.1. Зависимость ЭЭК от зольности концентрата класса:
а)-13мм б) >13мм

Суммарную кривую обогатимости каждого товарного концентрата товарного продукта, являющегося смесью "р" машинных классов, можно представить тремя участками:

$$\text{при } \partial_{ki} = \begin{cases} f_{1i}(A_{ki}^d) \cdot \text{при } A_{k1i}^d \leq A_{ki}^d \leq A_{1i}^d, \\ f_{2i}(A_{ki}^d) \cdot \text{при } A_{k\text{mini}}^d \leq A_{ki}^d \leq A_{k1i}^d, \\ \partial_{0i} \cdot \text{при } A_{ki}^d \leq A_{k\text{mini}}^d, \end{cases} \quad (4.10)$$

где A_{k1i}^d – зольность, при которой $f_{1i}(A_{ki}^d) = f_{2i}(A_{ki}^d)$ в силу невозможности описать β - кривую общим выражением;

A_{ui}^d – зольность i -го исходного угля;

$A_{k\text{mini}}^d$ – минимально возможная зольность i -го концентрата (материнская зола);

Γ_{0i} – выход концентрата при $A_{ki}^d \leq A_{k\text{mini}}^d$.

Обычно первый участок β - кривой обогатимости аппроксимирует линейной зависимостью:

$$f_{1i}(A_{ki}^d) = \Gamma_{0i} + \mu_i A_{ki}^d, i = \overline{1, n}. \quad (4.11)$$

Второй участок невозможно аппроксимировать линейной функцией, поэтому его описывают полиномом не ниже второго порядка. Для целей анализа критерия управления достаточно аппроксимировать его параболой:

$$f_{2i}(A_{ki}^d) = a_i + b_i A_{ki}^d + c_i (A_{ki}^d)^2, i = \overline{1, n}. \quad (4.12)$$

Рассмотрим характер изменения критерия (3.8) при работе на различных участках β – кривой обогатимости. Рабочими являются первый и второй участки.

В случае работы на первом участке β – кривой обогатимости критерий (4.8), при формировании цен товарных продуктов в зависимости от их зольности и влажности, описывается полиномом второго порядка и имеет экстремум – максимум. Оптимальное значение его при зольности

$$A_{k\text{opti}}^d = \frac{1}{2\lambda_1\mu_1} \left[(1 + \lambda_1 A_{ki}^{d*}) \mu_1 + \lambda_1 \Gamma_{0i} \right]. \quad (4.13)$$

Поскольку каждый товарный продукт реализуется отдельно, в данном случае справедлив принцип суперпозиции, т.е. глобальный максимум критерия имеет место при локальных максимумах по всем переменным.

В случае формирования цены в соответствии с выражением (4.9) экстремума при работе на первом участке β -кривой обогатимости не может быть, поэтому оптимальным режимом является условие

$$A_{k\text{opti}}^d = A_{ki}^{d\partial}, \quad (4.14)$$

где $A_{ki}^{d\partial}$ – договорная зольность.

При условии $A_{ki}^d < A_{ki}^{d\partial}$ фабрика понесет убытки, так как цена при этом не увеличивается.

Наиболее вероятным является режим работы на втором участке β - кривой. В этом режиме всегда имеет место экстремум (максимум), однако в силу ограничений на зольность концентрата, он не всегда достижим. Действительно, при аппроксимации β - кривой полиномом второго порядка функция Γ_{ki} – выпуклая, поэтому при формировании цены концентрата по выражениям (4.8) и (4.9) имеет место экстремум-максимум, причем во втором случае $A_{kopti}^d = b_i / 2c_i$.

При формировании цены в соответствии с выражением (4.8) режим работы возможен с оптимальной зольностью, если она находится в пределах допустимого диапазона изменения. В противном случае оптимальный режим будет на границе допустимого диапазона, например, $A_{kopti}^d = A_{ki}^{d*}$ при нахождении экстремума справа от A_{ki}^d . Аналогичная картина наблюдается при использовании для цены выражение (4.9).

В силу стохастического характера изменения характеристик исходного угля экстремум-максимум критерия (4.8) дрейфует в вертикальном и горизонтальном направлениях. Вертикальный дрейф зависит от выхода концентрата при фиксированных других переменных критерия, т.е. в конечном счете от обогатимости угля.

При изменении обогатимости угля указанный экстремум подвержен также и горизонтальному дрейфу, причем с ростом трудности обогащения экстремум-максимум смещается вправо в сторону увеличения зольности концентрата. Это следует из характера изменения кривой обогатимости. Например, при работе на линейном (первом) участке β -кривой разность между оптимальными значениями зольности концентрата при труднообогатимых и легкообогатимых углях всегда положительна:

$$\Delta A_{kopti}^d = A_{kopti+1}^d - A_{kopti}^d = \Gamma_{0i} \mu_{i+1} - \Gamma_{0i+1} \mu_i > 0.$$

Действительно, всегда имеет место $\Gamma_{0i} > \Gamma_{0i+1}$ и $\mu_{i+1} > \mu_i$, где индексы (i+1) относятся к труднообогатимым, а i – к легкообогатимым углям.

Как правило, экстремум является максимумом, поэтому всегда находится вне допустимого диапазона изменения зольности (справа).

Относительно экологической составляющей в критерии (4.8) можно отметить, что используемые в настоящее время нормативы допустимых выбросов вредных веществ существенно завышены, а тарифы оплаты за выбросы значительно занижены, поэтому не оказывают заметного влияния на экономические показатели работы фабрик. Такое положение не стимулирует развитие работ, направленных на снижение уровня загрязнения окружающей среды.

Исследования эколого-экономических критериев управления. В качестве примера для исследования эколого-экономического критерия (ЭЭК) управления ОФ рассмотрим работу ЦОФ "Луганская", а сам критерий (4.8) представим в упрощенном виде:

$$\Phi = 0.01Q^* \sum_{i=1}^2 \Gamma_{ki \dots ki} \left[1 - \lambda (A_{ki}^d - A_{ki}^{d*}) \right] - \sum_{v=1}^6 n_v C_v \left[\operatorname{sgn}(C_v^* - C_v) + k_0 \operatorname{sgn}(C_v - C_v^*) \right]. \quad (4.15)$$

ЦОФ "Луганская" имеет следующие особенности: выпускает сортовой концентрат класса +13 мм и 0-13 мм; штыб не обогащается и присаживается к классу 1-13 мм; в атмосферу выбрасываются угольная пыль из помещений фабрики (16 аспирационных установок) – C_1 , из сушильного корпуса (3 установки) – C_2 , зола из 3-х топочных устройств – C_3 , концентрации NO_2 – C_4 , SO_2 – C_5 , CO – C_6 .

Исходными данными являются: $Q^*=580$ т/ч; время работы ОФ – 11 часов в сутки; производительность сушильного отделения – 200..250 т/сутки. Предельно допустимые выбросы: угольная пыль аспирационных установок – $C_1^*=1.34$ г/с; угольная пыль сушильной установки – $C_2^*=0.18$ г/с; зола сушильной установки – $C_3^*=13.82$ г/с; двуокись азота – $C_4^*=1.27$ г/с; двуокись серы – $C_5^*=37.36$ г/с; окись углерода – $C_6^*=28.04$ г/с. Заметим, что здесь приведены суммарные концентрации. При работе ЦОФ обычно задействованы два сушильных барабана и две топки из трех. Соответственно выбросы пыли и газов будет меньше. Время работы сушильной установки составляет 5.5 ч/сут. Прейскурантная цена концентрата равна $C_1 = 30.8$ грн/т для класса +13 при $A_{k1}^{d*} = 8.7\%$ и $C_2 = 26$ грн/т для класса 0-13% при $A_{k2}^{d*} = 15\%$. Плата за выбросы на сегодня установлена как: $\Pi_1=\Pi_2=\Pi_3=\Pi_6=1.60$ грн/т, $\Pi_4=\Pi_5=52.71$ грн/т.

Коэффициент штрафов k_0 установлен равным 5, а $\lambda = 0.025$ – коэффициент скидок и надбавок.

Для исследования ЭЭЖ (3.15) на основе вышеприведенных данных выполнены следующие расчеты.

1. Расчет зольности класса 1-13 мм.

Выход штыба (класс <1 мм) для шахты "Луганская" равен $\gamma_{1ш}=12.4\%$ к рядовому углю (р/у), а зольность - $A_{1ш}^d = 45.8\%$. Выход штыба шахты им. XIX съезда равен $\gamma_{2ш} = 17.35\%$ при зольности $A_{2ш}^d = 36.8\%$. Выход штыба шахты "Павлоградская" равен $\gamma_{3ш} = 19.75\%$ к р/у при $A_{3ш}^d = 52.1\%$. Средняя зольность штыба вычисляется как

$$A_{\Sigma ш}^d = \frac{\sum_{i=1}^3 \gamma_{iш} A_{iш}^d \rho_i}{\sum \rho_i \gamma_{iш}},$$

где ρ_i – долевое участие угля i -ой шахты в шихте.

Суммарный выход: $\gamma_{\Sigma ш} = \sum_{i=1}^3 \rho_i \gamma_{iш}$. Зольность концентрата класса 0-13 мм:

$$A_{k2}^d = \frac{A_{\Sigma ш}^d \gamma_{\Sigma ш} + \tilde{A}_{k2}^d \tilde{\gamma}_2}{\gamma_{\Sigma ш} + \tilde{\gamma}_2}, \quad \gamma_2 = \gamma_{\Sigma ш} + \tilde{\gamma}_2,$$

где $\tilde{\gamma}_2, \tilde{A}_{k2}^d$ – выход и зольность концентрата класса 1-13 мм; γ_2, A_{k2}^d – выход и зольность концентрата класса 0-13 мм.

Полученные значения γ_2 и A_{k2}^d использовались далее при вычислении критерия Ф.

2. Аппроксимация линейной части β -кривой.

Для всех 3-х рассматриваемых шахт в качестве аппроксимирующей функции для линейной части β -кривой возьмем полином 1-ой степени, т.е. $\gamma_j = \gamma_{0j} + \mu_j A_{kj}^d$, $j=1,2,3$.

Тогда расчеты показывают, что общее уравнение β -кривой имеет вид:

$$\gamma_1 = \begin{cases} 14.08 \cdot n_{\text{при}} A_{k1}^d \leq 5.7\%, \\ f_1(A_{k1}^d) \cdot n_{\text{при}} 5.7 < A_{k1}^d \leq 6.6\%, \\ 11.14 + 0.585 A_{k1}^d \cdot n_{\text{при}} A_{k1}^d > 6.6\% \end{cases}$$

для класса +13 мм;

$$\gamma'_1 = \begin{cases} 22.91 \cdot n_{\text{при}} A_{k1}^d \leq 5.7\%, \\ f_1'(A_{k1}^d) \cdot n_{\text{при}} 5.7 < A_{k1}^d \leq 6.84\%, \\ 20.07 + 0.55 A_{k1}^d \cdot n_{\text{при}} A_{k1}^d > 6.84\% \end{cases}$$

для класса 1-13 мм;

$$\gamma_2 = \begin{cases} 18.33 \cdot n_{\text{при}} A_{k2}^d \leq 6.6\%, \\ f_2(A_{k2}^d) \cdot n_{\text{при}} 6.6 < A_{k2}^d \leq 8.01\%, \\ 15.97 + 0.462 A_{k2}^d \cdot n_{\text{при}} A_{k2}^d > 8.01\% \end{cases}$$

для класса +13 мм;

$$\gamma'_2 = \begin{cases} 30.18 \cdot n_{\text{при}} A_{k2}^d \leq 6.4\%, \\ f_2'(A_{k2}^d) \cdot n_{\text{при}} 6.4 < A_{k2}^d \leq 8.96\%, \\ 26.87 + 0.655 A_{k2}^d \cdot n_{\text{при}} A_{k2}^d > 8.96\% \end{cases}$$

для класса 1-13 мм;

$$\gamma_3 = \begin{cases} 23.17 \cdot n_{\text{при}} A_{k3}^d \leq 5.1\%, \\ f_3(A_{k3}^d) \cdot n_{\text{при}} 5.1 < A_{k3}^d \leq 6.02\%, \\ 19.92 + 0.653 A_{k3}^d \cdot n_{\text{при}} A_{k3}^d > 6.02\% \end{cases}$$

для класса +13 мм;

$$\gamma'_3 = \begin{cases} 18.17 \cdot n_{\text{при}} A_{k3}^d \leq 5.0\%, \\ f_3'(A_{k3}^d) \cdot n_{\text{при}} 5.0 < A_{k3}^d \leq 6.25\%, \\ 16.68 + 0.432 A_{k3}^d \cdot n_{\text{при}} A_{k3}^d > 6.25\% \end{cases}$$

для класса 1-13 мм.

3. Определение суммарной β -кривой шихты классов +13 и 1-13 мм

Суммарная зольность исходного питания (р/у) при $\delta_1=\delta_2=\delta_3=0.33$ есть

$$A_{\Sigma U}^d = \frac{\sum_{i=1}^3 \delta_i A_{ui}^d \Gamma_i}{\sum_{i=1}^3 \delta_i \Gamma_i} = \frac{\sum_{i=1}^3 A_{ui}^d \Gamma_i}{\sum_{i=1}^3 \Gamma_i} = 56.275\% ,$$

где суммарный выход $\Gamma_{\Sigma} = \sum_{i=1}^3 \Gamma_i = 126.78\%$ для класса +13 мм;

Аналогично для класса 1-13 мм $A_{\Sigma u}^d = 39.65\%$, а $\Gamma_{\Sigma} = 113.26\%$.

Суммарный угловой коэффициент μ_{Σ} определим как:

$$\mu_{\Sigma} = \delta_1 \mu_1 + \delta_2 \mu_2 + \delta_3 \mu_3 = 0.33(0.589 + 0.462 + 0.653) = 0.562$$

для класса +13 мм и $\mu'_{\Sigma} = 0.54$ для класса 1-13 мм.

Приведенные к шихте угловые коэффициенты есть $\mu_{\Sigma} = 0.562 / 4.31 = 0.13$ для класса +13 мм и $\mu'_{\Sigma} = 0.54 / 4.31 = 0.125$ для класса 1-13 мм.

Если $\Gamma_{p/y}$ -- выход по отношению к p/y и $\Gamma_{ш}$ -- выход по отношению к шихте, то при $p = \Gamma_{p/y} / \Gamma_{ш}$ значение свободных членов в линейной части β -кривой будут равны

$$\gamma_{0\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^3 \gamma_{0i}}{p} = \frac{11.14 + 15.97 + 19.92}{4.31} = 10.91\% \quad --$$

для класса +13 мм и

$$\gamma'_{0\Sigma} = \frac{20.7 + 26.87 + 16.68}{4.31} = 26.9\% \quad --$$

для класса 1-13 мм.

Таким образом, суммарное уравнение β -кривой имеет вид:

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma_{0\Sigma} + \mu_{\Sigma} A_{\Sigma}^d = 10.91 + 0.13 A_{\Sigma}^d \quad \text{для класса +13 мм,}$$

$$\gamma'_{\Sigma} = \gamma'_{0\Sigma} + \mu'_{\Sigma} A_{\Sigma}^d = 26.9 + 0.125 A_{\Sigma}^d \quad \text{для класса 1-13 мм.}$$

Результаты расчетов общей зольности смеси и выход всплывших фракций на базе фракционного анализа представлены в табл. 4.1.

4. Линейные участки суммарной β -кривой. Уравнение линейного участка β -кривой определен по формуле $\Gamma = \Gamma_0 + \mu A_{\kappa}^d$ для 6-ти вариантов шихты классов +13 и 1-13 мм (табл. 4.2).

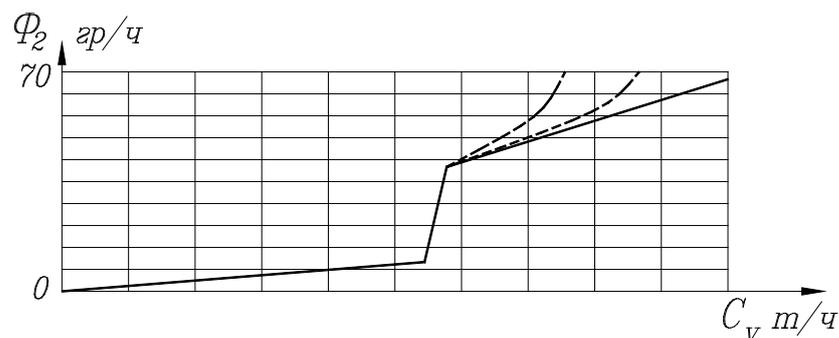


Рис. 4.2. Зависимость величины суммарного штрафа от концентрации выбросов

Таблица 4.1

Общая зольность смеси и выход всплывших фракций

Плотность фракций, кг/м ³	Элементарные фракции						Всплывшие фракции					
	Шахта Луганская		Шахта им. XIX съезда		Шахта Павлоградская	Шахта Луганская		Шахта им. XIX съезда		Шахта Павлоградская		
	Выход к шихте, %	Зольность, %	Выход к шихте, %	Зольность, %	Выход к шихте, %	Зольность, %	Выход к шихте, %	Зольность, %	Выход к шихте, %	Зольность, %	Выход к шихте, %	Зольность, %
	К л а с с + 1 3 м м											
-1500	7.35	5.70	4.25	6.60	5.70	5.10	7.35	5.70	4.25	6.60	5.70	5.10
1500-1700	0.33	15.60	0.23	21.5	0.11	28.8	7.68	6.12	4.48	7.36	5.81	5.54
1700-1800	0.10	26.90	0.04	41.2	0.03	46.8	7.78	6.39	4.52	7.66	5.84	5.76
1800-1900	0.07	29.70	0.04	47.9	0.03	57.1	7.85	6.60	4.56	8.01	5.87	6.02
+1900	16.45	85.50	3.59	84.2	5.47	87.0	24.3	60.10	8.15	41.5	11.34	45.08
	К л а с с 1 - 1 3 м м											
-1500	11.96	5.7	7.0	6.40	4.60	5.0	11.96	5.70	7.00	6.40	4.60	5.00
1500-1700	0.35	31.5	0.35	31.60	0.10	31.9	12.31	6.43	7.35	7.60	4.70	5.57
1700-1800	0.07	42.3	0.11	45.4	0.03	46.6	12.38	6.63	7.46	8.15	4.73	5.83
1800-1900	0.06	48.7	0.14	52.00	0.04	55.3	12.44	6.84	7.60	8.96	4.77	6.25
+1900	9.12	82.2	3.42	82.80	3.63	86.0	21.56	38.71	11.02	31.5	8.40	40.4

Таблица 4.2

Класс	Варианты шихты	I	II	III	IV	V	VI
+13 мм	μ	0.186	0.159	0.138	0.200	0.221	0.156
1-13 мм	μ'	0.068	0.195	0.147	0.187	0.209	0.171

Таблица 4.3

	Варианты шихты					
	I	II	III	IV	V	VI
Γ_{0i}	11.02	4.2	5.45	15.62	6.87	12.13
μ_i	0.109	0.360	0.262	0.0976	0.347	0.139

Результаты расчета Γ_{0i} и μ_i ($i=\overline{1,6}$) можно представить в виде таблицы 4.3, а уравнения β -кривых представлены в табл. 4.4. ЦОФ реализует концентрат классов +13мм и 0-13 мм при плановых зольностях 8,7% и 15% соответственно. Работа происходит на линейных участках β -кривой (варианты шихты и аппроксимирующие зависимости приведены в табл.4.4).

Таблица 4.4

Варианты шихты и аппроксимирующие зависимости

Вариант шихты	Долевое участие шахты в шихте, %			Аппроксимирующее выражение	Диапазон зольности, %		
	Луганская	им. XIX съезда	Павлоградск.		мин.	макс.	
Класс +13мм	I	34	33	33	$4.85+0.186 A^d$	6.69	52.88
	II	20	40	40	$4.73+0.159 A^d$	6.87	49.90
	III	10	50	40	$4.55+0.138 A^d$	6.94	47.07
	IV	40	20	40	$5.08+0.200 A^d$	6.59	53.96
	V	50	10	40	$5.27+0.221 A^d$	6.50	55.34
	VI	20	60	20	$4.37+0.156 A^d$	6.89	49.44
Класс 0-13мм	I	34	33	33	$11.02+1.109 A^d$	21.0	46.23
	II	20	40	40	$4.20+0.360 A^d$	22.0	37.30
	III	10	50	40	$5.45+0.202 A^d$	23.0	38.83
	IV	40	20	40	$15.62+0.010 A^d$	20.0	39.51
	V	50	10	40	$6.87+0.347 A^d$	22.0	40.56
	VI	20	60	20	$12.13+0.139 A^d$	18.0	36.91

На рис. 4.3 приведены графики зависимости критерия от зольности концентрата класса + 13мм (а) и 0-13 мм (б) при постоянстве переменных.

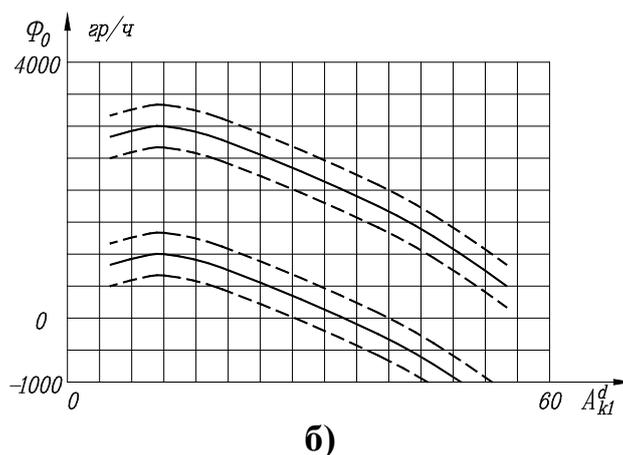


Рис. 4.3. Зависимость ЭЭК от зольности концентрата при изменении концентрации выбросов

Анализ графиков показывает:

1. Критерий управления для класса +13 мм имеет экстремум-максимум, дрейфующий в зависимости от обогатимости шихты рядовых углей:

$$A_{k_{opt1}}^d = 11,31\%; A_{k_{opt2}}^d = 7,86\%; A_{k_{opt3}}^d = 12,43\%;$$

$$A_{k_{opt4}}^d = 9,48\%; A_{k_{opt5}}^d = 11,65\%; A_{k_{opt6}}^d = 10,34\%.$$

2. Критерий управления по классу 0-13 мм в рабочем диапазоне зольности не имеет экстремума.

3. Оптимальным режимом для обогащения угля класса 0-13 мм является режим с минимально возможной зольностью.

4. Для класса 0-13 мм целесообразно снизить долю штыба, присаживаемого к классу 1-13 мм.

Для проверки последнего вывода были выполнены расчеты 8 вариантов смеси концентрата класса 1-13 мм со штыбом при изменении его выхода к шихте от 0.5% до 4.5%. При этом установлено, что при низком содержании штыба для основного варианта шихты в критерии управления имеет место экстремум в области допустимых зольностей.

Рассмотрим влияние выбросов вредных веществ. На основании исходных данных и результатов расчетов теперь можно сформировать и использовать конкретный ЭЭК в виде:

$$\Phi_0 = \Phi_1(A_k^d) - \Phi_2(C_v),$$

$$\Phi_1 = 5.80 \{ 30.8 [1 - 0.025 (A_{k1}^d - 8.7) (4.85 + 0.186 A_{k1}^d) +$$

$$+ 26 [1 - 0.025 (A_{k2}^d - 15) (11.02 + 0.109 A_{k2}^d)] \},$$

$$\Phi_2 = 1.6 \{ C_1 [\text{sgn}(1.34 - C_1) + k_0 \text{sgn}(C_1 - 1.34)] +$$

$$+ C_2 [\text{sgn}(0.18 - C_2) + k_0 \text{sgn}(C_2 - 0.18)] +$$

$$+ C_3 [\text{sgn}(13.82 - C_3) + k_0 \text{sgn}(C_3 - 13.82)] +$$

$$+ C_6 [\text{sgn}(28.04 - C_6) + k_0 \text{sgn}(C_6 - 28.04)] \} +$$

$$+ 52.71 \{ C_5 [\text{sgn}(37.36 - C_5) + k_0 \text{sgn}(C_5 - 37.36)] +$$

$$+ C_4[\text{sgn}(1.279-C_4)+k_0\text{sgn}(C_4-1.279)]\}.$$

Исследование критерия выполнено при изменении величин концентрации $\{C_\nu\}$ в диапазонах:

$$0 \leq C_1 \leq 1.34 \equiv C_1^* \text{ и } C_1^* < C_1 \leq 2.0,$$

$$0 \leq C_2 \leq 0.18 \equiv C_2^* \text{ и } C_2^* < C_2 \leq 0.4,$$

$$0 \leq C_3 \leq 13.82 \equiv C_3^* \text{ и } C_3^* < C_3 \leq 20,$$

$$0 \leq C_4 \leq 1.279 \equiv C_4^* \text{ и } C_4^* < C_4 \leq 2.5,$$

$$0 \leq C_5 \leq 37.36 \equiv C_5^* \text{ и } C_5^* < C_5 \leq 65,$$

$$0 \leq C_6 \leq 28.04 \equiv C_6^* \text{ и } C_6^* < C_6 \leq 50,$$

а диапазоны изменения зольностей концентрата A_{k1}^d и A_{k2}^d приведены в таблице 4.4.

Представлена зависимость критерия Φ_0 от суммарных штрафов ($-\Phi_2$), при фиксированном $\Phi_I=0$, т.е. зависимость ЭЭК от уровня выбросов (C_1, \dots, C_6).

По параметрам C критерий (4.8) или (4.15) не имеет экстремумов, поэтому его величина тем больше, чем меньше выбросов. Наиболее невыгодным является режим, когда выбросы превышают нормативы и плата за превышение увеличивается в K раз ($K=5$). Влияние штрафов за выбросы на прибыль (эффективность) будет значительным при установлении соответствующего прогрессивного штрафного коэффициента, который может быть предложен как $k_0=100\Delta(20\Delta-15)$, где $\Delta = C_\nu - C_\nu^*/C_\nu^*$, т.е. $k_0=5, 50, 500$ и т.д. при $\Delta=10\%, 20\%, 30\%$ и т.д.

На рис. 4.3. показаны зависимости критерия Φ от зольностей $A_{k1}^d (A_{k2}^d)$ при различных значениях $\{C_{\nu i}, \nu=1, \dots, 6; i=1, 2, \dots\}$.

Отсюда видим, что нарушение ПДК по $\{C_\nu, \nu=1, \dots, 6\}$ приводит к резкому снижению прибыли при соответствующем выборе коэффициента штрафа за сверхвыброс.

Однако величина критерия зависит от конкретных величин платежей P^* и допустимых концентраций C^* . При существующих значениях C^* и P^* плата за выбросы составляет незначительную величину, поэтому не оказывает заметного влияния на прибыль фабрики. Таким образом, на фактор загрязнения окружающей среды фабрика может не обращать никакого внимания, но с точки зрения защиты от загрязнения режим с большими выбросами недопустим. Противоречие может быть устранено лишь при пересмотре нормативов выбросов и платежей за них в сторону ужесточения. Поэтому целесообразно запретить работу фабрик с выбросами, превышающими санитарные нормы.

Основными источниками загрязнения окружающей среды на фабриках являются аспирационные установки, сушилки и котельные. Управление экологической ситуацией можно рассматривать в двух аспектах: стратегическом, связанным с совершенствованием технологии и техники; тактическом - оптимизация режимов работы технологических участков по критерию (4.8) при снижении до минимального уровня степень загрязнения окружающей среды. Такие воздействия могут снизить потери легких фракций с отходами обогащения, уменьшить выбросы пыли, газов в атмосферу и различные реагенты с отходами. Например, оптимальное управление сушильной установкой, являющейся основным источником загрязнения атмосферы, может привести их к снижению в результате

соответствующих воздействий на температуру сушильного агента, подачу первичного и вторичного воздуха, топочного устройства и сырого угля на входе в сушилку.

При этом можно предотвратить химический и механический недожег топлива, что приводит к снижению выбросов вредных веществ в атмосферу и др. [68, 171-173].

4.5. Оптимизация управления в системе эколого-экономического мониторинга

При создании систем эколого-экономического мониторинга (СЭЭМ) любого уровня исследование наиболее рационального соотношения между производством, потребителем и объемом загрязнения окружающей среды (ОС) явилось актуальной эколого-экономической проблемой. Для этого можно использовать теорию производственных функций, комплексное моделирование и методы теории оптимального управления. Здесь важно также решить и задачу оптимального контроля над загрязнением ОС [165-170].

Итак, пусть задана функция полезности (ФП) $V(P, C)$, зависящая от 2-х аргументов (ресурсов): P - объем потребления, C - объем загрязнения, которые могут быть векторными величинами. При этом требуется, чтобы выполнялись следующие условия:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial P} > 0, \quad \frac{\partial V}{\partial C} < 0, \quad \frac{\partial^2 V}{\partial P^2} < 0, \quad \frac{\partial^2 V}{\partial C^2} < 0, \quad \lim_{P \rightarrow 0} \frac{\partial V}{\partial P} = \infty \end{aligned} \right\} \quad (4.16)$$

Сделаем еще одно предположение о характере функции $V(P, C)$, связанное с явлением «замещения». А именно, если потребление P уменьшается на некоторую величину ΔP , то для того чтобы значение ФП не изменилось, требуется объем загрязнения C также уменьшить на некоторую величину ΔC . Как в случае производственных функций (ПФ), данный эффект определяется предельной нормой замещения:

$$S = \frac{dC}{dP} = - \frac{\partial V / \partial P}{\partial V / \partial C}. \quad (4.17)$$

Наше предположение, накладываемое на ФП $V(P, C)$, будет состоять в том, что при малом уровне потребления для возмещения уменьшения P на одну единицу требуется уменьшить объем C загрязнения на очень большую величину, и наоборот, при неограниченном возрастании P величина ΔC , необходимая для возмещения одной единицы потребления, стремится к нулю. Это означает, что линии уровня функции S , определяемые уравнениями вида $S(P, C) = S_0$, где $S_0 > 0$, носят характер гипербол.

Кривая $C = f_c(P, S_0)$, определяемая данным уравнением, должна обладать следующими свойствами: $\lim_{P \rightarrow 0} f_c(P, S_0) = \infty$, $\lim_{P \rightarrow \infty} f_c(P, S_0) = 0$ и $f_c(P, S_0)$ монотонно убывает при возрастании P .

Так как $S = dC/dP$ и $dC/dP = -\partial S/\partial P/\partial S/\partial C$, то условие монотонного убывания функции $f_c(P, S_0)$ можно задать как $-\frac{\partial S}{\partial P}/\frac{\partial S}{\partial C} < 0$ или, вычисляя частные производные функции $S=S(P, C)$, получим условие

$$\left(\frac{\partial^2 V}{\partial P^2} - \frac{\partial V/\partial P}{\partial V/\partial C} \cdot \frac{\partial^2 V}{\partial P \partial C}\right) \left(\frac{\partial^2 V}{\partial C^2} \cdot \frac{\partial V/\partial P}{\partial V/\partial C} - \frac{\partial^2 V}{\partial P \partial C}\right) < 0$$

Данное условие справедливо, в частности, если $\partial^2 V/\partial P \partial C \leq 0$.

Примером ФП, удовлетворяющей указанным условиям, служит функция $V(P, C) = aP^\alpha - bC^\beta$, где $a, b > 0$; $0 < \alpha < 1$; $\beta > 1$.

В качестве критерия, подлежащего максимизации, принимается функционал:

$$J(P, C) = \int_0^T V(P, C) e^{-\gamma t} dt, \quad (4.18)$$

где $P \equiv P(t)$, $C \equiv C(t)$ и γ – дисконтирующий показатель.

Рассмотрим задачу контроля над загрязнением с помощью процессов очистки.

В качестве ПФ рассмотрим неоклассическую однопродуктовую двухфакторную функцию $Y = \Phi(K, L)$, где K – объем основного капитала, L – объем трудовых ресурсов.

Предполагаем, что основной капитал амортизирует с постоянным темпом $\mu > 0$, и для простоты положим, что $L = const$, т.е. не изменяется во времени ($\dot{L} = 0$).

Загрязнение и загрязнитель не используются в производстве как полезный продукт, а является его побочным продуктом. Считаем, что объем загрязнителя прямо пропорционален объему продукта производства и составляет от него долю ε , $0 < \varepsilon < 1$. Примерами подобного производства могут служить металлургия, угольная промышленность и т.д. Таким образом, загрязнение измеряется в тех же единицах, что и основная продукция.

Как известно, ОС обладает определенной способностью ассимилировать отходы производства.

Будем считать, что естественная убыль отходов в каждый момент времени составляет долю от их общего количества.

Общество, в свою очередь, может выделить часть произведенного общественного продукта на борьбу с загрязнением. Предполагается, что эффективность (производительность) затрат на уменьшение загрязнения постоянна. При этом затрата одной единицы продукции уменьшает загрязнение на δ единиц ($\delta > 1$).

Задача управления состоит в определении долей $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ выпуска, предназначенных на потребление и борьбу с загрязнением соответственно.

Итак, имеем следующую эколого-экономическую модель системы:

$$\begin{cases} P = \alpha\Phi(K, L) \\ \dot{K} = \Phi(K, L) - \alpha\Phi(K, L) - \beta\Phi(K, L) - \mu K \\ \dot{C} = \varepsilon\Phi(K, L) - \delta\beta\Phi(K, L) - \xi C, \end{cases} \quad (4.19)$$

где $0 \leq \alpha(t) \leq 1$, $0 \leq \beta(t) \leq 1$, $\alpha(t) + \beta(t) \leq 1$.

Задача оптимального управления (4.18) и (4.19) – это задача оценки вектора $u(t) = (\alpha(t), \beta(t))$, которую можно решать, например, используя принцип максимума.

Обозначим через ψ_1 двойственную переменную, соответствующую уравнению (4.19), т.е. $\psi_1(t)$ – объективно обусловленная оценка капитала $K(t)$ в момент t , через ψ_2 – объективно обусловленную оценку загрязнения $C(t)$ (см. уравнение (4.19)).

Введем гамильтониан H для задачи (4.18), (4.19) в виде:

$$H(\alpha, \beta) = V(P, C)e^{-\gamma} + \psi_1[(1 - \alpha - \beta)\Phi(K, L) - \mu K] + \psi_2[(\varepsilon - \delta\beta)\Phi(K, L) - \xi C].$$

Сопряженная (двойственная) система уравнений примет теперь вид:

$$\begin{cases} \dot{\psi}_1 = -\left\{ \frac{\partial V}{\partial P} \alpha \frac{\partial \Phi}{\partial K} e^{-\gamma} + \psi_1 \left[(1 - \alpha - \beta) \frac{\partial \Phi}{\partial K} - \mu \right] + \psi_2 (\varepsilon - \delta\beta) \frac{\partial \Phi}{\partial K} \right\}, \\ \dot{\psi}_2 = -\frac{\partial V}{\partial C} e^{-\gamma} + \psi_2 \xi. \end{cases}$$

Перенормируя двойственные оценки как $q_1 = \psi_1 e^{\gamma}$ и $q_2 = \psi_2 e^{\gamma}$, будем иметь сопряженную систему в виде:

$$\begin{cases} \dot{q}_1 = -\frac{\partial V}{\partial P} \alpha \frac{\partial \Phi}{\partial K} + q_1 \left[\gamma + \mu - (1 - \alpha - \beta) \frac{\partial \Phi}{\partial K} \right] + q_2 (\varepsilon - \delta\beta) \frac{\partial \Phi}{\partial K}, & (4.20) \\ \dot{q}_2 = -\frac{\partial V}{\partial C} + q_2 (\xi + \gamma), & (4.21) \end{cases}$$

а гамильтониан H равен:

$$H = e^{-\gamma} \left\{ V(\alpha\Phi(K, L), c) + q_1 [(1 - \alpha - \beta)\Phi(K, L) - \mu K] + q_2 [(\varepsilon - \delta\beta)\Phi(K, L) - \xi C] \right\}.$$

Согласно принципу максимума, если управление $u(t) = (\alpha(t), \beta(t))$ оптимально, то существуют непрерывные функции $q_1(t)$ и $q_2(t)$, удовлетворяющие (4.20) и (4.21). При этом функции $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ максимизируют значение гамильтониана H в любой момент времени t .

Максимизацию функции H можно свести к максимизации выражения:

$$\varphi(\alpha, \beta) = \varphi_0(\alpha) + \theta\beta, \text{ где } \alpha, \beta \geq 0, \alpha + \beta \leq 1 \text{ и}$$

$$\varphi_0(\alpha) = V(\alpha\Phi(K, L), C) - q_1 \alpha\Phi(K, L), \theta = -(q_1 + q_2\delta)\Phi(K, L).$$

В случае $\theta > 0$ очевидно, что максимум функции (q) достигается при $\alpha + \beta = 1$.

Если $\theta < 0$, то максимум $\varphi(\alpha, \beta)$ достигается при $\beta = 0$.

Когда $\theta = 0$, то β – произвольно, а α либо равно 1, либо является решением уравнения $\frac{\partial \varphi_0}{\partial \alpha} = 0$.

Полный анализ поведения оптимальных траекторий в данной модели довольно сложен, поскольку здесь имеется два управляющих параметра. Однако зная, какую

важную роль играют при описании оптимальных траекторий точки равновесия, попытаемся ответить на следующие вопросы.

Существуют ли в данной модели траектории сбалансированного роста (точки равновесия), удовлетворяющие необходимым условиям принципа максимума, и сколько их?

Покажем, что существует ровно две точки равновесия. В одном из таких положений никаких средств на борьбу с загрязнением не тратится. Такое состояние модели назвали «равновесием темного века». Оно характеризуется высоким уровнем производства (большим объемом основного капитала), высоким уровнем потребления и крайне высоким уровнем загрязнения, который регулируется лишь естественными процессами очистки.

Состояние равновесия, в котором производятся расходы как на потребление, так и на борьбу с загрязнением, называют «равновесием золотого века». От равновесия темного века оно отличается более низкими уровнями капитала, потребления и загрязнения.

Состояние равновесия описывается уравнениями $\dot{K} = 0$, $\dot{C} = 0$, т.е.

$$(1 - \alpha - \beta)\Phi(K, L) = \mu K, \quad (4.22)$$

$$(\varepsilon - \delta\beta)\Phi(K, L) = \xi C. \quad (4.23)$$

Поскольку величина K в состоянии равновесия постоянна и, естественно, положительна, то из (4.23) вытекает, что сумма $(\alpha + \beta)$ соответствующих оптимальных управлений постоянна и строго меньше 1. Следовательно, $\alpha < 1$, $\beta < 1$, и имеет место случай $\theta \leq 0$ (4.23).

Из (4.23) получаем, что в точке равновесия управление β (а следовательно, и α) постоянно. Поскольку $\alpha < 1$, то $\partial \varphi_0 / \partial \alpha = 0$, т.е.

$$\frac{\partial V(\alpha\Phi(K, L), C)}{\partial P} = q_1. \quad (4.24)$$

Отсюда вытекает, что функция $q_1(t)$ является константой. Формула (4.23) показывает, что в таком случае $q_2(t)$ также постоянна. Из формулы (4.24) получаем

выражение q_2 через функцию V : $q_2 = \frac{1}{\xi + \gamma} \cdot \frac{\partial V}{\partial C}$.

Уравнение (4.24) принимает вид:

$$q_1 \left(\gamma + \mu - \frac{\partial \Phi}{\partial K} + \beta \frac{\partial \Phi}{\partial K} \right) - q_2 (\varepsilon - \delta\beta) \frac{\partial \Phi}{\partial K} = 0. \quad (4.25)$$

4.6. Эколого-экономическое моделирование и оптимизация водопользования в техногенном регионе

Водный ресурс для техногенного региона представляется важной составляющей жизнедеятельности, и поэтому проблема его рационального использования с позиции экономико-экологического мониторинга является актуальной для такого промышленного региона как Луганская область.

В данной работе предложен подход экономико-математического моделирования и оптимизации процесса водопользования в регионе в случае, когда учитывается стоимость потребления воды, т.е. когда установлена или устанавливается цена единицы воды.

Пусть n потребителей используют общий водный ресурс региона. Потребителями воды в регионе являются промышленные предприятия, коммунально-бытовые организации, предприятия сельского хозяйства и др.

Рассмотрим два случая.

1. Предположим вначале, что каждый потребитель P_i расходует часть воды, но не изменяет ее качество. Пусть R – ресурс всей воды; x_i – потребление воды i -ым потребителем; $p_i(x_i)$ – прибыль, получаемая от потребления воды в количестве x_i i -ым потребителем; \bar{x}_i – предельная величина водопотребления i -ым предприятием. Здесь $p_i(x_i)$ – функция полезности, причем рассматривается только 1 ресурс.

Тогда задача максимизации прибыли всех потребителей от использования воды имеет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^n p_i(x_i) \rightarrow \max, \quad (4.26)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq R, \quad (4.27)$$

$$0 \leq x_i \leq \bar{x}_i. \quad (4.28)$$

В условиях рыночной экономики будем считать, что обмен информацией о потреблении воды между потребителями отсутствует, т.к. они не заинтересованы в разглашении своих функций полезности $p_i(x_i)$.

Координирующий государственный (региональный) орган устанавливает некоторую цену на воду. Каждый потребитель осуществляет заказ необходимого объема воды при заданной цене. В зависимости от соотношения между общим спросом на воду и ее наличным ресурсом (объемом) координирующий орган корректирует цену и сообщает потребителям ее новое значение.

Для решения задачи (4.26) – (4.28) запишем функцию Лагранжа:

$$L(x, u) = \sum_{i=1}^n p_i(x_i) + u \left(R - \sum_{i=1}^n x_i \right) = \sum_{i=1}^n p_i(x_i) - u \sum_{i=1}^n x_i + uR, \quad (4.29)$$

где u – цена единицы объема водного ресурса (множитель Лагранжа).

Таким образом, имеем теперь следующую задачу:

$$L(x, u) \rightarrow \max_x, \quad 0 \leq x \leq \bar{x}, \quad (4.30)$$

которую при вогнутых функциях полезности $p_i(x_0)$, что обычно имеет место, можно решить как семейство подзадач:

$$p_i(x_i) - u^* x_i \rightarrow \max, \quad (4.31)$$

$$0 \leq x_i \leq \bar{x}_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4.32)$$

где u^* – предлагаемое оптимальное решение двойственной к (4.26) – (4.28) задачи.

Итак, если известна цена u^* , то происходит децентрализация задач (4.26) – (4.28) на (4.31), (4.32). Однако u^* обычно неизвестно. Поэтому можно предложить следующую процедуру.

Пусть нам известно u^k , $k = 0, 1, 2, \dots$ – цена на воду в момент времени t_k . Тогда каждый потребитель воды определяет свои потребности x_i^k , решая задачу

$$p_i(x_i) - u^k x_i \rightarrow \max, \quad (4.33)$$

$$0 \leq x_i \leq \bar{x}_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (4.34)$$

Новая цена на воду u^{k+1} определяется путем изменения u^k пропорционально разнице между общим спросом на воду $\sum_{i=1}^n x_i^k$ и ее предложением R с учетом обязательной неотрицательности

$$u^{k+1}: u^{k+1} = \max \left\{ 0, u^k + \gamma_k \left(\sum_{i=1}^n x_i^k - R \right) \right\}, \quad (4.35)$$

где γ_k – некоторый шаговый множитель.

Следует отметить, что выражение $\sum_{i=1}^n x_i^k - R$ в (4.35) является обобщенным градиентом целевой функции

$$\varphi(u) = \max_{0 \leq x_i \leq \bar{x}_i} L(x, u), \quad i = \overline{1, n}.$$

При сделанных предположениях эта функция будет недифференцируемой при тех $u = u^k$, когда хотя бы одна из задач (4.33), (4.34) имеет более одного оптимального решения.

Процедура (4.35) является методом обобщенно-градиентного спуска для решения задачи минимизации функции $\varphi(u)$ при $u \geq 0$. Поэтому выбор шагового множителя γ_k может быть основан на обычных для этого метода условиях: $\gamma_k \geq 0$, $\gamma_k \rightarrow 0$ при $k \rightarrow \infty$, $\sum \gamma_k = \infty$, $\sum \gamma_k^2 < \infty$.

Отметим еще раз, что u^* можно интерпретировать как оптимальную плату за воду, а x_i^k – как спрос на воду i -го потребителя при цене u^k . Поэтому соотношение (4.35) представляет собой разностный аналог уравнения Вальраса, описывающего динамику цен в условиях конкурентного рынка и процедуру формирования оптимальной (т.е. равновесной) цены.

Таким образом, изложенный алгоритм имитирует процедуру рыночного ценообразования на «общий ресурс» – воду.

Если в модели (4.26) – (4.28) каждый x_i является вектором $x_i \in R_+^m$, то задача (4.33), (4.34) будет иметь следующий вид:

$$p_i(x_i) - u^k \sum_{j=1}^m x_{ij} \rightarrow \max, \quad x_i \in X_i \subset R_+^m, \quad i = \overline{1, n}.$$

2. На практике в процессе водопользования происходит загрязнение части воды и ухудшение ее качества и состава из-за сбросов отходов производств в водную

среду. Поэтому при экономико-математическом моделировании следует учесть эти экологические факторы и построить эколого-экономические модели (ЭЭМ) процесса водопользования.

В такой модели, в первую очередь, к целевой функции (4.26) и ограничениям (4.27, (4.28) будут добавлены ограничения вида:

$$\sum_{i=1}^n C_i^s(x_i) \leq \bar{C}^s, \quad s = \overline{1, S}, \quad (4.36)$$

где $C_i^s(x_i)$ – зависимость между объемом водопотребления и повышением концентрации s -го загрязнителя в воде, \bar{C}^s – ПДК в воде s -го загрязнителя, S – число учитываемых загрязнителей. В этом случае наряду с ценой на воду и следует ввести налог v_s , которым облагается единица сбрасываемого в воду s -го загрязнителя.

Таким образом, для решения задачи (4.33), (4.34), (4.36) необходим некоторый адаптивный алгоритм ценообразования на воду и налогообложения на сбросы загрязнителей, который имеет следующий вид:

- выберем произвольные u^0 и v_s^0 , $s = \overline{1, S}$. Тогда:
- оптимальная структура водопользования x_i определяется независимо каждым потребителем из условия максимума его прибыли:

$$p_i(x_i) - u^k x_i - \sum_{s=1}^S v_s^k C_i^s(x_i) \rightarrow \max \quad (4.37)$$

$$0 \leq x_i \leq \bar{x}_i, \quad i = \overline{1, n}; \quad (4.38)$$

- новая цена u^{k+1} на воду определяется согласно (4.35);
- новые ставки v_s^{k+1} налогов за загрязнение воды вычисляются по формуле:

$$v_s^{k+1} = \max \left\{ 0, v_s^k + \gamma_k^s \left(\sum_{i=1}^n C_i^s(x_i) - \bar{C}_s \right) \right\}, \quad s = \overline{1, S}. \quad (4.39)$$

В данном алгоритме дополнительно требуется выпуклость функции $C_i^s(x)$ и существование внутренней точки множества, заданного ограничениями (4.36).

В заключение отметим, что случайные колебания и неопределенности величин спроса на воду требуют стохастической модели водопользования многими потребителями, т.е.

$$E \left\{ \sum_{i=1}^n p_i(x_i, \omega) \right\} \rightarrow \max, \quad (4.40)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq R, \quad (4.41)$$

$$0 \leq x_i \leq \bar{x}_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4.42)$$

где $p_i(x_i, \omega)$ – прибыль, получаемая от потребления воды i -ым потребителем в количестве x_i , зависящая от случайных параметров ω с заданным законом распределения; E – знак математического ожидания.

Для решения задачи (4.40) – (4.42) можно применить стохастический аналог вышеприведенного алгоритма.

Отметим также, что можно было бы здесь привести модель водопользования в случае возможной передачи излишнего для данного потребителя водного ресурса другому партнеру по определенной цене.

Отметим, что в качестве функции $p_i(x_i)$ можно брать функцию векторного аргумента $X_i = (x_{i1}, \dots, x_{im})$, где $\{x_{ij}\}$ – j -ый ресурс, используемый i -ым предприятием и, в частности, можно брать вогнутую обобщенную функцию Кобба - Дугласа вида [147,165,166] :

$$p_i(X_i) = \gamma_i \prod_{j=1}^m x_{ij}^{\alpha_{ij}} = \gamma_i \cdot x_{i1}^{\alpha_{i1}} \cdot x_{i2}^{\alpha_{i2}} \cdot \dots \cdot x_{im}^{\alpha_{im}},$$

где $\gamma_i > 0$, $\alpha_{ij} \geq 0$ – заданные числа такие, что $\sum_{j=1}^m \alpha_{ij} = 1 \quad \forall i = \overline{1, n}$.

Выводы по разделу 4

1. Предложен общий принцип формирования комбинированных критериев управления по всем уровням иерархии в соответствии с декомпозицией структуры системы ЭЭУ ПС (ОФ) и при учете как экономических, так и экологических параметров.

2. Разработан общесистемный обобщенный технолого-экономический и экологический критерий управления и принятия решений, включающий как качественные и количественные характеристики готовых продуктов, так и экологические параметры загрязнителей ОПС.

3. Для всех технологических и транспортных процессов получены локальные критерии управления, соответствующие общесистемному критерию по наблюдениям технологических и экологических параметров.

4. Разработаны варианты критериев оперативного управления ОФ с типовыми технологическими схемами по производительности и зольности концентрата, а также по выбросам угольной и породной пыли, диоксидов серы и азота и оксида углерода, с учетом до рыночных и рыночных отношений.

На примере реальных данных ЦОФ “Луганская” показано, что предложенный общесистемный критерий имеет экстремум-максимум, дрейфующий при изменении зольности концентрата в зависимости от обогатимости угля и объема выбросов загрязняющих веществ.

РАЗДЕЛ 5

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПЭС

Введение. Важными задачами для эффективного функционирования ОФ в СЭЭМ является решение задач учета, оптимального планирования и управления ее транспортными потоками (входной — ж/д транспорт и пульпопровод, внутренний — конвейерный и трубопроводный, выходной — ж/д и автомобильный) с применением теории системного анализа, экономико-математических и экологических методов и средств современных информационно - компьютерных технологий (рис. 5.1).

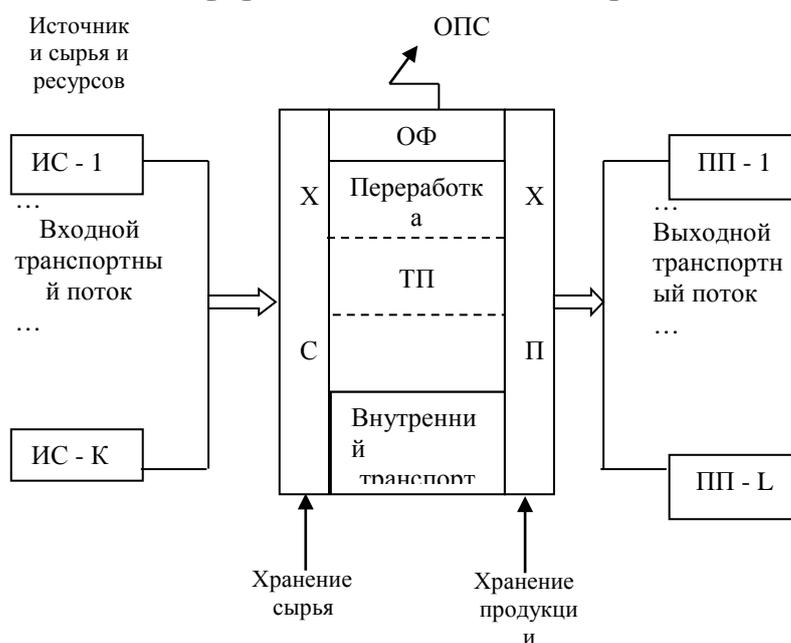


Рис. 5.1. Транспортные потоки углеобогажительных фабрик.

Таким образом, экологическое управление транспортными потоками ОФ в условиях функционирования и реализации СЭЭМ является достаточно сложной проблемой. Основной подсистемой ОФ, которая координирует задачи планирования и управления транспортными потоками, является АСОДУ. При этом на ОФ (или на других промышленных объектах) для решения указанной проблемы могут быть несколько (ок. 3-х на ОФ) операторов по непосредственному управлению различными транспортными операциями, подчиненные диспетчеру ОФ (рис. 5.2).

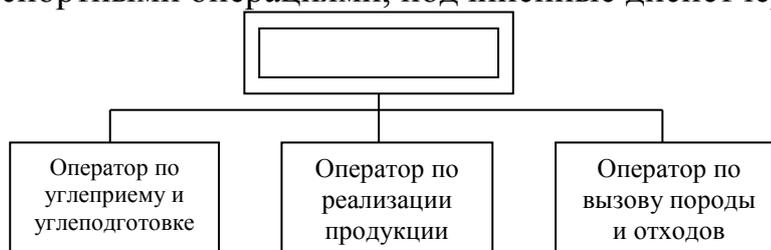


Рис. 5.2. Связь ИАРМ диспетчера с оператором по транспорту

Кроме транспортных потоков, другими важными потоками для управления ОФ в локальной СЭЭМ являются информационные потоки. В данной главе рассмотрены вопросы анализа, учета, моделирования, планирования и оптимизации указанных потоков как основных объектов для синтезируемой ИАСУ на ОФ. Структура подсистемы "ТРАНСПОРТ" ОФ представлена на рис. 5.3.

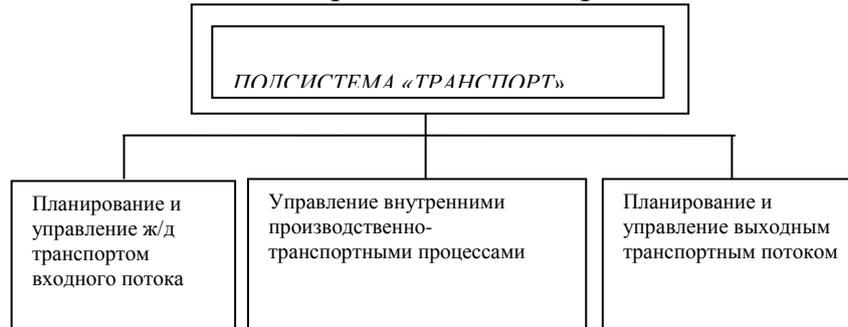


Рис.5.3. Организационная структура транспортной подсистемы ОФ.

В данной работе разработано информационное и программное обеспечение решения функциональных задач, представленное в обобщенной организационной структуре транспортной подсистемы "ТРАНСПОРТ" ОФ (рис. 5.4).



Рис. 5.4. Структура подсистемы «Транспорт» в ИАСУ ОФ

В частности, разработана программное обеспечение АРМ диспетчера по транспорту ОФ, включающая: интерфейс, информационно-справочную подсистему, подсистему "Транспортный и экологический учет", блок моделирования и планирования, блок принятия оперативных решений.

В приложении З представлены результаты моделирования транспортного узла ОФ "Самсоновская" и "Суходольская", а в приложении Д осуществлен также расчет оценки влияния автоматизации транспортных процессов ОФ на снижение уровня загрязнения ОС ОФ.

5.1. Автоматизация планирования и управления транспортной системой обогатительных фабрик (ОФ)

Системный механизм управления углеобогатительным предприятием требует автоматизации диспетчерской службы приема сырья и отгрузки готовой продукции. Такая автоматизация подразумевает разработку и эксплуатацию программного обеспечения для отдельной ЭВМ или как составной части АСУ производства. Это программное обеспечение должно включать в себя решение следующих задач [70]:

1. Автоматизация учета поступления, отгрузки и наличия на складах и различных этапах производства различных категорий сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

2. Учет экономических характеристик, таких как санкции за простой подвижного состава, себестоимость транспортных работ, эффективность перевозок различного сырья и т.д.

3. Выдача рекомендаций по оперативному управлению—определение очередности и интенсивности погрузочных и разгрузочных работ.

4. Выбор оптимальной архитектуры транспортного узла при существующих условиях производства и при изменении объема или технологии производства.

5. Прогноз состояния транспортного узла (загруженность станционных путей и складов) при использовании различных вариантов управления производством.

Решение первых двух задач имеет, вообще говоря, самостоятельную ценность и может быть рассмотрено отдельно, однако систематизированные в этих условиях данные являются входными параметрами для задач оперативного управления и прогноза. Для учета перечисленных характеристик создается и постоянно изменяется база данных на основе оперативной информации.

Задачи управления и прогноза требуют рассмотрения схемы функционирования транспортного узла и его математической модели. Укрупненная и вместе с тем достаточно универсальная схема функционирования транспортного узла представлена на рис. 5.5. Для ее описания используется язык теории массового обслуживания. С сети внешних железных дорог поступают группы вагонов с сырьем. Каждая группа $X(t)$ представляет в модели тройку параметров $\langle T(i), z(i), n(i) \rangle$, где $T(i)$ — время поступления группы, $z(i)$ — тип сырья, $n(i)$ — количество вагонов в группе.

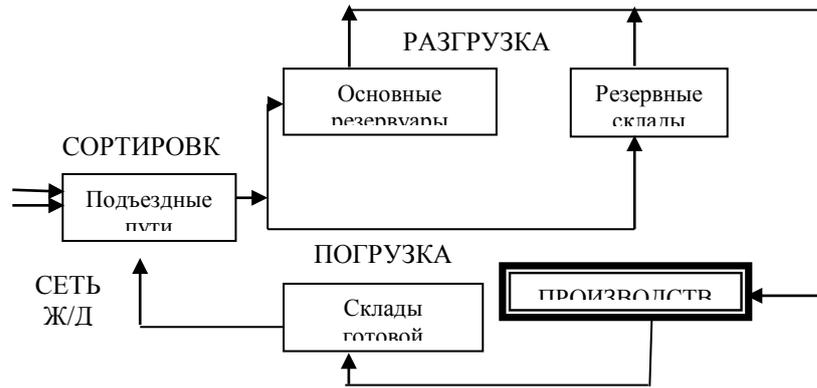


Рис. 5.5. Схема функционирования транспортного узла

Общий объем подъездных путей, который может быть заполнен - V_{np} вагонов. Если сумма текущего количества вагонов на подъездных путях $M(t_i)$ и в поступающей группе $m(i)$ будет больше V_{np} , то прибывающая группа остается во внешней сети ж/д. Уместно рассматривать не один входной поток, а N потоков, каждый из которых соответствует определенной шахтогруппе, то есть виду сырья m_i . Такое распределение обусловлено тем, что каждая шахтогруппа имеет свои технологические признаки и для отдельной шахтогруппы с большей надежностью можно определить статистические характеристики по частоте прихода и количеству вагонов в группе. Прибывшие вагоны подвергаются разборке на подъездных путях, после чего могут подаваться на разгрузку в основные резервуары, но уже не группой, а по одному вагону. Эта возможность определяется объемом резервуаров V_{op} , а также потребностями производства. Разгрузка в резервуары производится, если текущее заполнение резервуаров $R(t)$ удовлетворяет условию $V_{op} - R(t) \geq 0$ и тех шахтогрупп, которые наиболее необходимы для производства и имеются на подъездных путях. Если резервуары заполнены, то разгрузка происходит в резервные склады, либо вагоны остаются на подъездных путях. Освободившиеся вагоны подаются на подъездные пути и затем либо передаются на внешнюю сеть ж/д, либо на погрузку. Выбор варианта лежит на диспетчере в зависимости от занятости подъездных путей, исправности подвижного состава, погрузочных средств и потребности в отгрузке продукции. В отличие от входных потоков вагонов с сырьем наличие того или иного вида концентрата определяется не только условиями производства, но и зависит от качества прибывающего сырья и принятия технологических решений. Это определяет достаточно сложный характер детерминированных связей с учетом наложенных случайных условий поставок сырья и производственного процесса.

Для решения задач прогноза и управления необходимо уметь предсказывать с заданной надежностью как ситуацию на ближайший период, так и определять средние характеристики в течение длительного периода. Ввиду указанной выше сложности связей функционирования системы и в силу необходимости быстрого получения рекомендаций по оптимальному управлению эти задачи не могут быть решены аналитическими методами, что приводит к необходимости построения имитационной модели в составе программного обеспечения. Поскольку именно имитационная модель является основой для принятия решений, остановимся на ее построении. Исходными данными для модели служат два комплекса параметров: глобальные, изменение которых связано с условиями производства и структурой транспортной системы, и текущими в рамках постоянных глобальных параметров.

Глобальные исходные данные:

1. Параметры входных потоков вагонов, т.е. по каждой шахтогруппе функции распределения случайных величин — времени между поступлениями групп вагонов и количества вагонов в группе. Для определения этих параметров должна быть проведена предварительная работа по сбору статистических данных.

2. Объем подъездных путей V_{np} .

3. Распределение времени сортировки поступивших вагонов с сырьем (случайная величина $T_{сс}$), порожних вагонов ($T_{сп}$) и вновь погруженных вагонов ($T_{со}$).

4. Время подачи под разгрузку ($T_{пр}$), под погрузку ($T_{пп}$) и на подъездные пути после погрузки ($T_{вп}$) или разгрузки ($T_{вр}$).

5. Скорость разгрузки (V_p) и погрузки ($V_{п}$) одним механизмом и количество этих механизмов (K_p) и ($K_{п}$) соответственно.

6. Объемы основных резервуаров $V_{ор}$, резервных складов $V_{рс}$ и складов готовой продукции $V_{гп}$.

7. Потребность $P(j,t)$ в том или ином виде (j) готовой продукции в зависимости от времени t в пределах календарного года.

8. Масса одного вагона сырья $MS(i)$ ($i=1..N$) и одного вагона концентрата $MK(j)$ ($j=1..M$), где N — количество категорий сырья, M — количество видов готовой продукции (концентрата).

Текущие параметры

1. Количество находящихся в данный момент вагонов с сырьем $SV(i)$ по каждой i -й шахтогруппе на территории ОФ.

2. Количество (в тоннах) сырья в резервуарах $SR(i)$ по каждой шахтогруппе.

3. Количество (в тоннах) сырья в резервных складах $SS(i)$ по каждой шахтогруппе.

4. Количество полуфабрикатов в производстве $F(l)$, ($l=1..L$), где l — номер полуфабриката из L определенных.

5. Количество готового концентрата $CS(j)$, ($j=1..M$) по всем видам готовой продукции на складах в тоннах.

6. Количество готового концентрата $CV(j)$, ($j=1..M$) по всем видам концентрата на подъездных путях.

7. Количество пустых вагонов D на территории ОФ.

8. Количество прошедших $K_{рг}$ через систему вагонов.

9. Количество вагонов с сырьем $SO(i)$ по каждой i -й шахтогруппе, ожидающих на внешней сети ж/д.

Представим транспортный узел в виде системы массового обслуживания. Для составления алгоритма и программы для ЭВМ по реализации имитационной модели произведем дальнейшую математическую формализацию задачи, выбрав сеть массового обслуживания в качестве математической модели. Этот выбор обусловлен следующими факторами: случайность векторов $X(i)=\langle T(i), z(i), n(i) \rangle$, характеризующих входные потоки грузов; наличие нескольких фаз обслуживания поступающих вагонов (сортировка, подача вагонов, погрузка и разгрузка), как последовательных, так и параллельных; возможность образования очередей на всех этапах обслуживания.

Схема сети массового обслуживания представлена на рис. 5.6.

Из внешней сети поступает N входных потоков с функциями распределения $A(i)$ времени прибытия ($i=1..N$) и $B(i)$ — количества вагонов в группе. Первая фаза обслуживания Φ_1 представляет из себя сортировку прибывших из внешней сети и после погрузки и разгрузки вагонов и формирование подач на погрузку и разгрузку. Часть прибывающих вагонов может дожидаться очереди на внешней сети ж/д.

Состояние каждого поступившего вагона в систему будем характеризовать группой параметров: идентификатор вагона (например, его номер); принадлежность вагона; время его поступления на предприятие; его местонахождение (фазы $\Phi 1.. \Phi 4$); признак загруженности (пуст, с сырьем, с концентратом); категория груза ($i=1..N$ для сырья или $j=1..M$ — для готовой продукции).

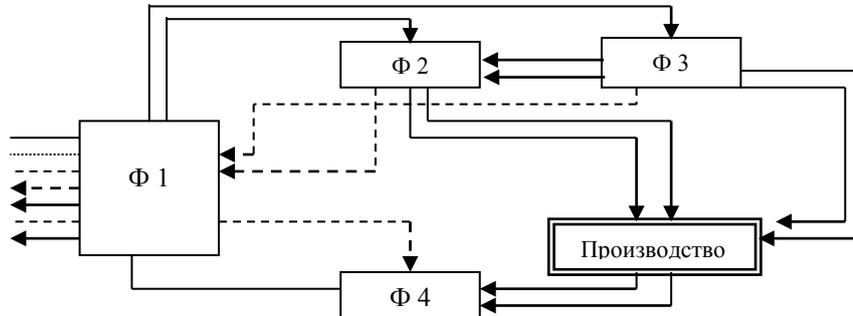


Рис.5.6. Схема сети транспортного обслуживания:

————> -потоки груженых вагонов;

-----> -потоки порожних вагонов;

Всего вагонов в системе LV . При программной реализации для хранения информации о подвижном составе удобно ввести динамический массив записей.

После фазы $\Phi 1$ вагоны могут поступать на фазу $\Phi 2$ — разгрузка в резервуары или $\Phi 3$ -разгрузка на резервных складах. Эти фазы надо рассматривать как многоканальные системы массового обслуживания, так как обслуживаться могут сразу несколько вагонов. Порожние вагоны могут поступать на внешнюю сеть ж/д или на погрузку — фаза $\Phi 4$. Погрузка также формализуется многоканальной системой массового обслуживания. Груженые вагоны и часть порожних, поступивших на фазу $\Phi 1$, сортируются и передаются на внешнюю сеть ж/д. При этом изменяется число вагонов в системе LV , накапливается информация о количестве прошедших через систему вагонов и их суммарном времени пребывания.

Получение реальной картины состояния узлов системы массового обслуживания возможно только с учетом грузопотоков, не связанных с вагонами, а описывающих связь резервуаров и складов с постоянно действующим производством. Такой учет связан со скоростями поступления сырья и готовой продукции в зависимости от выбранного технологического режима. Обозначим эти скорости: W_{23} — скорость подачи сырья из резервного склада в резервуары; W_{25} — скорость выбора сырья из резервуаров; W_{54} — скорость поступления концентрата на склад готовой продукции.

Имитационную модель составим по принципу особых состояний [178-182]. Для этого в схеме функционирования системы выделим ряд параллельно протекающих процессов со следующими особыми состояниями: $П1$ — поступление на фазу $\Phi 1$ группы вагонов из сети внешних ж/д; $П2$ — окончание сортировки поступившей группы вагонов на фазе $\Phi 1$; $П3$ — окончание разгрузки на фазе $\Phi 2$; $П4$ — окончание разгрузки на фазе $\Phi 3$; $П5$ — окончание погрузки на фазе $\Phi 4$.

Кроме того, необходимо учитывать изменение состояния системы под действием непрерывно протекающих процессов: П6 — подача сырья из резервного склада в резервуары; П7 — выбор сырья из резервуаров; П8 — поступление концентрата на склад готовой продукции.

Блок-схема алгоритма, следующего принципу особых состояний, приведена на рис. 5.7.

Блок ввода исходных данных служит для определения в алгоритме перечисленных выше глобальных параметров, однозначно характеризующих строение и производительность всех узлов транспортной системы. Блок инициализации INITPR определяет начальные значения временных параметров, которые могут быть либо заданы с пульта, либо взяты из задачи учета состояния транспортной системы. Здесь же выбирается первый рабочий процесс. Для этого соответствующим временам наступления событий (массив TP, в котором 5 элементов для процессов из набора П1-П5) присваивается машинная бесконечность, а первому рабочему процессу присваивается время наступления события, равное нулю. Далее процесс имитации происходит в цикле. Сначала по минимальному времени из массива TP выбирается рабочий процесс TP(NP) и его номер NP. Затем в соответствии с номером выбранного процесса переходим к одной из процедур обработки особого состояния с именами RP1-RP5.

Процедура RP1 соответствует поступлению группы вагонов из внешней сети ж/д. На самом деле это не один процесс, а N (соответственно количеству шахтогрупп) параллельно протекающих процессов. В этой процедуре выбирается, из какой шахтогруппы поступила группа вагонов, и разыгрывается количество прибывших вагонов. Увеличивается на это количество длина динамического массива, описывающего вагоны в системе LV, и заполняются элементы этого массива для вновь прибывших вагонов. Изменяется состояние фазы Ф1.

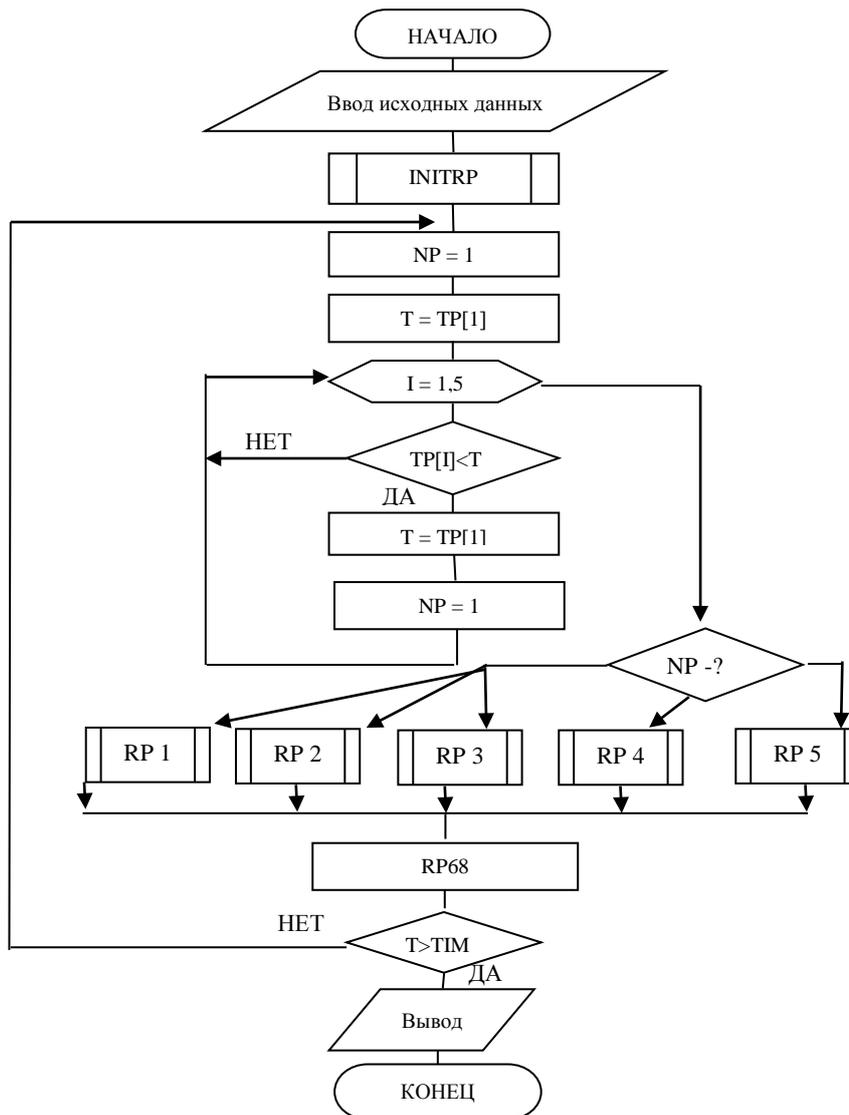


Рис.5.7. Блок-схема имитации работы транспортной сети

В процедуре RP2 обрабатывается событие процесса П2, т.е. имитируется сортировка, определяется, куда (т.е. на фазы Ф2 или Ф3) и сколько подать вагонов с сырьем или сколько подать порожних вагонов под погрузку. В случае возможности такая подача имитируется с соответствующими изменениями в состояниях фаз Ф1 ÷ Ф4. Разыгрывается время наступления события в процессе П1, если группа вагонов поступила с внешней сети ж/д. Процедура RP3 обрабатывает окончание разгрузки поступившей группы вагонов в резервуары. Этот процесс П3 инициализируется процессом П2. По окончании разгрузки увеличивается количество сырья в резервуарах, и порожние вагоны подаются на фазу Ф1, инициализируя процесс П2.

Процедура RP4 инициализируется также процессом П2, если резервуары заполнены. После разгрузки порожние вагоны подаются на фазу Ф1 и инициализируется процесс П2. Увеличивается количество сырья на резервном складе.

Процедура RP5 также инициализируется процессом П2. Грузеные вагоны подаются на фазу Ф1, инициализируя процесс П2. Уменьшается количество концентрата на складе готовой продукции. Если процесс П2 инициализируется

процедурами RP3,RP4,RP5, то груженные вагоны и часть порожних передаются на сеть внешних дорог. При этом процедура RP2 уменьшает на убывающие вагоны динамический массив, описывающий вагоны в системе, и накапливается информация о количестве прошедших вагонов через систему и времени их пребывания в системе.

По окончании работы каждой из процедур RP1-RP5 изменяется количество сырья и готовой продукции на складах и в резервуарах в соответствии со скоростями W23,W25,W54, за время, прошедшее с момента обработки предыдущего особого состояния. Если системное время T не превосходит время имитации TIM, то переходим на новый цикл обработки особого состояния. В противном случае вычисляются требуемые средние или последние характеристики и передаются другим блокам программного обеспечения. На этом алгоритм имитации заканчивает работу.

Для обеспечения точности прогнозируемых величин с заданной доверительной вероятностью встает вопрос о качественном моделировании входных потоков, времени обслуживания на различных фазах и объеме имитационного эксперимента. Времена между поступлением групп вагонов, вообще говоря, коррелированы между собой (связаны в цепь Маркова). Обычно такие процессы называются потоками с ограниченным последствием [181,182]. Эргодические теоремы [181] утверждают о сходимости времени между поступлением требований к безгранично делимому распределению. Теоретические [181,182] и практические исследования на основе статистической обработки реальных данных наблюдений показывают, что время между поступлением требований имеет Γ -распределения с плотностью

$$f_{\Gamma}(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \lambda^{\alpha} x^{\alpha-1} \exp(-\lambda x), x > 0, \quad (5.1)$$

где α, λ - параметры распределения, а количество вагонов в группе имеет β -распределение с плотностью

$$f_{\beta}(x) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \left(\frac{x}{\chi}\right)^{a-1} \left(1 - \frac{x}{\chi}\right)^{b-1}, x \in [0, \chi] \quad (5.2)$$

с параметрами a, b и χ . В результате статистического анализа и обработки данных наблюдений также получены оценки для $fT(t)$ как

$$\hat{\alpha}_j = \bar{T}_j^2 / S_j^2, \hat{\lambda}_j = \bar{T}_j / S_j^2,$$

а для $f_N(n)$ - как $\hat{a}_j = \bar{n}_j \left[\frac{\bar{n}_j}{s_j^2} (1 - \bar{n}_j) - 1 \right], \hat{b}_j = (1 - \bar{n}_j) \hat{\alpha}_j / \bar{n}_j,$

причем $\bar{n}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_j} n_j^{(i)}, \hat{s}_j^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_j} (n_j^{(i)} - \bar{n}_j)^2.$

Оценка объема выборки получена по формулам: $\hat{N}_j = \frac{C_{\varepsilon}}{\delta_a \hat{\alpha}_j}, C_{\varepsilon} = \Phi^{-1}\left(\frac{2-\varepsilon}{2}\right),$

где δ_a - относительная ошибка \hat{N}_j . В частности, получены следующие оценки: $\hat{N}_j = 250..300, \hat{\alpha} = 1.986, \hat{\lambda} = 0.178, \hat{a} = 0.763, \hat{b} = 0.289.$

Адекватность имитационной модели функционирования транспортного узла ЦОФ подтверждается близостью (порядка 90%) основных параметров моделирования: объемов поступления сырья, отгрузки продукции, количества обслуженных вагонов при имитационном моделировании и в результате анализа реальной деятельности ЦОФ.

Результаты моделирования могут быть использованы в двух основных направлениях: 1) программный комплекс выдает рекомендации по изменению параметров узла (объемов складов, количества погрузочно-разгрузочного оборудования, объема подъездных путей и т.п.). Применение предложенного программно-математического комплекса в современных условиях нестабильности угольного производства (закрытие шахт и забастовки, консервация или продажа некоторого оборудования, сокращение обслуживающего персонала) позволяют повышать эффективность работы предприятия за счет уменьшения расходов по эксплуатации; 2) программная система может использоваться для оперативного перепланирования и управления транспортным парком в условиях изменения рыночных отношений, корректируя основные оперативные параметры и проводя дополнительное моделирование и выбрать таким образом оптимальный вариант. При этом улучшаются такие параметры системы: время пребывания вагонов в системе; меньший пробег вагонов и локомотива из-за более редкого использования низкоэффективных резервных складов сырья, что приводит к меньшему загрязнению окружающей среды и экономии топлива и электроэнергии на погрузочно-разгрузочные работы и транспортировку; меньший износ локомотива, подвижного состава и станционных путей; обеспечение сроков поставок готовой продукции и другие. Конкретные примеры показывают, что применяемый на ЦОФ вариант управления дает в модели и на системе 2,8 часа на период оценивания в 100 дней, а выбранный оптимальный компьютерный вариант составляет 2,42 часа.

Предложенная имитационная модель стала основой программного обеспечения автоматизации диспетчерской службы. Она позволяет предсказать с заданной точностью и надежностью как состояние системы в ближайшем будущем, так и определить ее долговременные эксплуатационные характеристики. Причем это можно сделать без больших материальных затрат в такой широкой области пространства допустимых значений параметров, которая недоступна никакому практическому опыту. Однако имитационная модель требует соответствующей программной оболочки, позволяющей вычислить экономическую эффективность в случае принятия того или иного решения. Программное обеспечение должно предусмотреть возможность ввода измененных значений и учет таких характеристик, как стоимость энергоресурсов, цены на сырье и готовую продукцию, стоимость работы транспортной системы и т.п. Это позволяет выбрать экономически оптимальный вариант принятия оперативного решения и модернизации производства, включая транспортную систему.

Краткое описание реализации программных средств по моделированию, планированию и учету информации транспортного узла ОФ (т.е. программное обеспечение АРМ диспетчера по транспорту и информационно-поисковая и справочная подсистема по транспортным процессам ОФ), а также примеры

моделирования транспортных потоков ОФ на реальных данных наблюдений приведены в разделе 8 и приложениях.

5.2. Управление внутренними транспортными потоками

Водно-шламовая система (ВШС) ОФ как транспортная подсистема. Основными функциями ВШС являются:

1. Обесшламливание рядового угля перед обогащением.

2. Обеспечение транспортной водой процессов обогащения: 1) отсадочные машины — разделение в водной среде, транспорт угля в пределах отсадочной машины; 2) обогащение в магнетитовой суспензии, транспорт материала в пределах обогатительного аппарата; разделение исходного угля на концентрат и породу; 3) флотация — разделение в водной среде, транспортирование в пределах машины, транспортирование обогащенного шлама и отходов.

3. Обесшламливание продуктов обогащения отсадочных машин и тяжелосредних установок.

Основными требованиями к ВШС является замыкание потоков внутри фабрики с минимальным сбросом сточных вод в окружающую среду. Однако даже при замкнутом цикле имеется потребность в пополнении ВШС чистой водой из внешних источников (реки, озера и т.п.). Потери воды из ВШС происходят: а) с продуктами обогащения; б) за счет испарения, утечек, разбрызгивания и т.п. Пополнение ВШС водой может происходить также за счет поступления с рядовым углем.

Управление водно-шламовой системой должно поддерживать водный баланс за счет регулирования подачи чистой воды, т.е. необходимо стабилизировать общий расход в ВШС: $Q_o = Q_{об} + Q_{\tau_e} + Q_{py} = const$, где Q_o — общий расход воды в ВШС; $Q_{об}$ — расход оборотной воды; Q_{τ_e} — расход чистой воды; Q_{py} — расход воды с рядовым углем.

Расход чистой воды определяется из баланса расходов (потерь): $Q_{\tau_e} = \sum_{i=1}^3 Q_i$,

где Q_i — расход (потери) воды из ВШС соответственно с концентратом, отходами обогащения и потерь по другим причинам.

В частности, потери воды с концентратом составляют $Q_1 = \sum_{i=1}^4 Q_{1i}$, где Q_{1i} — потери воды с концентратом отсадочных машин, тяжелосреднего обогащения, флотации и промпродуктом соответственно, $Q_2 = \sum_{i=1}^3 Q_{2i}$, где Q_{2i} — потери воды с отходами отсадки, тяжелосреднего обогащения и флотации (после сгущения).

С рядовым углем поступает в систему $Q_{py} = G_{py} W_{py}$, где G_{py} — производительность фабрики по рядовому углю; W_{py} — влажность рядового угля (в относительных единицах, т.е. $0 \leq W \leq 1$).

Зная производительность фабрики по всем продуктам и их влажности, можно получить общий расход воды в ВШС:

где A_k^α, A_0^α — соответственно зольность концентрата и отходов; $A_0^{\alpha*}$ — допустимая зольность отходов; $Q_{фл}, Q_{фм}$ — соответственно производительность флотационного и фильтровального отделений.

2. Фильтрация.

Критерий управления:

$$W_k \leq W_k^* \rightarrow \min; Q_{фл} = Q_{фм},$$

где W_k — влажность кека.

3. Процесс сгущения шламов и осветления воды.

Критерий управления:

$$\rho_{щ} \geq \rho_{щ}^*, \beta_{щ} \leq \beta_{щ}^*, Q_{сг} = Q_{фл}; Q_{сг} = Q_{щ},$$

где $\rho_{щ}, \rho_{щ}^*$ — соответственно текущая и заданная плотность сгущенного шлама; $\beta_{щ}, \beta_{щ}^*$ — соответственно текущее и заданное содержание твердой фазы в осветленной воде (сливе); $Q_{сг}$ — производительность по сгущенному шламу; $Q_{щ}$ — производительность сгустительного аппарата по входу (шламу на входе).

4. Сгущение отходов флотации.

Критерий управления:

$$\beta_{от} \leq \beta_{от}^*; \rho_{от} \geq \rho_{от}^*; Q_{сг} = Q_{отх},$$

где $\rho_{от}, \rho_{от}^*$ — соответственно текущая и заданная плотности сгущенных отходов флотации; $Q_{отх}$ — производительность флотации по отходам.

Поскольку эффективность обогащения зависит от содержания в оборотной воде твердой фазы и оптимальные режимы имеют место при $\beta = 100 - 120$ г/л, то целью управления ВШС, помимо обеспечения $Q_0 = \min$ или const , является поддержание содержания твердого на оптимальном уровне: $\beta_{общ} = \text{const}$.

Тогда общий критерий управления ВШС будет $\beta_{общ} = \text{const}$, $Q_0 = \text{const}$.

Требование постоянства обусловлено также и тем, что даже при допустимой величине $\beta_{общ}$, но при ее изменениях в пределах допустимого диапазона, имеют место дополнительные потери концентратных фракций с отходами обогащения.

Следовательно, система управления ВШС должна иметь иерархическую структуру (рис. 5.10).

На нижнем уровне функционируют АСУ ТП соответствующих процессов, а верхний уровень координирует работу указанных АСУ ТП с целью обеспечения общего критерия управления ВШС.



Рис. 5.10. Иерархическая структура управления ВШХ

Тогда структура объекта управления будет иметь следующий вид (рис. 5.11).



Рис. 5.11. ВШХ как объект управления

Здесь $X = \{x_1, \dots, x_9\}$ — вектор наблюдаемых фазовых координат; $U = \{Q\tau_e, \beta_{ш}^*, \beta_0^*, \rho_{ш}^*, \rho_0^*\}$ — вектор управляющего воздействия; $\bar{Y} = \{Q_0, \beta_{общ}\}$ — вектор выходных координат; $F = \{Q_j\}$ — вектор возмущений ($j=1,4$).

В качестве возмущений принимаются потери воды из системы. Вектор F , как правило, неизвестен, поэтому систему управления необходимо синтезировать по отклонениям. Минимальная информация, необходимая для управления, т.е. вектор X , содержит следующую информацию: x_1 — содержание твердого в осветленной воде отходов флотации, β_0 ; x_2 — расходы осветленной воды отходов флотации, Q_0 ; x_3 — содержание твердого в осветленной воде шламов, $\beta_{ш}$; x_4 — расход осветленной воды шламов, $Q_{ш}$; x_5 — содержание твердого в оборотной воде после осветления, $\beta_{об}$; x_6 — расход (общий) осветленной воды, $Q_{об}$; x_7 — расход чистой воды, $Q\tau_e$; x_8 — общий расход $Q_{общ}$ в ВШС; x_9 — содержание твердого в ВШС $\beta_{общ}$.

Синтез системы управления и принятия решений для ВШХ ОФ. Система управления ВШС имеет иерархическую двухуровневую структуру. Верхний уровень реализуется функцией диспетчера по обеспечению содержания твердого в ВШС и общего расхода воды:

$$\beta_{общ}^* \in [\beta_{\min}^{общ}, \beta_{\max}^{общ}] Q_0 = Q_0^* = const. \quad (5.3)$$

Управляющим воздействием при этом являются расход чистой воды и содержание твердого в осветленной шламовой воде $\beta_{ш}^*$ и осветленной воде отходов флотации $\beta_{отх}^*$. Значения

$$\beta_{ш}^* \in [\beta_{\min}^{ш}, \beta_{\max}^{ш}] \quad (5.4)$$

$$\text{и } \beta_{отх}^* \in [\beta_{\min}^{отх}, \beta_{\max}^{отх}] \quad (5.5)$$

поддерживаются локальными САУ, при их отсутствии — операторами соответствующих процессов.

Поскольку $\beta_{общ}^*$ зависит также и от $Q_{чв}$ — расхода чистой воды, то система управления является с взаимосвязями, т.е. последняя не может быть представлена двумя автономными подсистемами.

Схема потоков может быть представлена следующим графом (рис. 5.12):
В вершинах 1 и 2 потока суммируются:

$$Q_{об} = Q_{ш} + Q_{отх}; \quad Q_0 = Q_{об} + Q\tau_{\epsilon} = Q_{ш} + Q_{отх} + Q\tau_{\epsilon}.$$

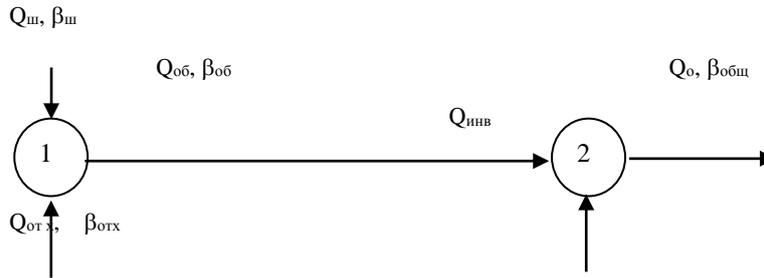


Рис. 5.12. Граф технологических потоков оборотной воды в ВШХ ОФ

Соответственно, содержание твердого в вершинах будет:

1. $Q_{об}\beta_{об} = Q_{ш}\beta_{ш} + Q_{отх}\beta_{отх}$
2. $Q_0\beta_{общ} = Q_{об}\beta_{об} = Q_{ш}\beta_{ш} + Q_{отх}\beta_{отх}$,

откуда

$$\beta_{общ} = (Q_{ш}\beta_{ш} + Q_{отх}\beta_{отх})/Q_0 = (Q_{ш}\beta_{ш} + Q_{отх}\beta_{отх})/(Q_{ш} + Q_{отх} + Q\tau_{\epsilon}) = f(Q_{ш}, Q_{отх}, Q\tau_{\epsilon}, \beta_{ш}, \beta_{отх}). \quad (5.6)$$

В процессе функционирования ВШС контролируются в первую очередь Q_0 , $Q\tau_{\epsilon}$, $\beta_{общ}$, а при наличии локальных САУ — также и $Q_{ш}$, $Q_{отх}$, $\beta_{ш}$, $\beta_{отх}$.

Следует иметь в виду, что в аппаратах сгущения шлама и осветления воды имеется зависимость $Q_{ш} = f_1(\beta_{ш})$, $Q_{отх} = f_2(\beta_{отх})$, поскольку при увеличении время осветления снижается, а значит, $Q_{отх}$ и $Q_{ш}$ увеличиваются.

В таких условиях управление ВШС целесообразно осуществлять следующим образом.

1. Путем добавления в систему чистой воды при помощи локального регулятора расхода или вручную поддерживать водный баланс.

2. По измеренным значениям поддерживать его в соответствии с (5.3)

$$\beta_{отх} = \beta_{отх}^*$$

При этом возможны следующие ситуации (табл. 5.1).

На основе табл. 5.1 и других ситуаций, возникающих в процессе управления ВШС, можно теперь формировать базу знаний нечеткой ЭС.

Таблица 5.1

Информация для базы знаний для управления ВШС

№	Если	То
---	------	----

1	$Q_0 = Q_0^*$; $\beta_{общ} \in [\beta_{мин}^{общ}, \beta_{макс}^{общ}]$; $\beta_{ш} \in [\beta_{мин}^{ш}, \beta_{макс}^{ш}]$; $\beta_{отх} \in [\beta_{мин}^{отх}, \beta_{макс}^{отх}]$	Управляющее воздействие не наносится
2	$Q_0 = Q_0^*$; $\beta_{общ} < \beta_{мин}^{общ}$, $\beta_{ш} \in [\beta_{мин}^{ш}, \beta_{макс}^{ш}]$; $\beta_{отх} \in [\beta_{мин}^{отх}, \beta_{макс}^{отх}]$	Увеличивают $\beta_{ш}$ или $\beta_{отх}$ или $\beta_{ш}$ и $\beta_{отх}$ одновременно с учетом выполнения условий (5.3) и (5.4)
3	$Q_0 = Q_0^*$; $\beta_{общ} > \beta_{мин}^{общ}$, $\beta_{ш} \in [\beta_{мин}^{ш}, \beta_{макс}^{ш}]$; $\beta_{отх} \in [\beta_{мин}^{отх}, \beta_{макс}^{отх}]$	Уменьшают $\beta_{ш}$ или $\beta_{отх}$ или $\beta_{ш}$ и $\beta_{отх}$ с учетом (5.4) и (5.5)
№	Если	То
4	$Q_0 = Q_0^*$; $\beta_{общ} \in [\beta_{мин}^{общ}, \beta_{макс}^{общ}]$; $\beta_{ш} < \beta_{мин}^{ш}$, $\beta_{отх} \in [\beta_{мин}^{отх}, \beta_{макс}^{отх}]$	Управляющее воздействие не наносят, если $\rho_{ш} \cong \rho_{ш}^*$, $\rho_{ш}$, $\rho_{ш}^*$ - текущая и заданная плотности сгущенного продукта (шлама). В противном случае увеличивают $\beta_{ш}$ и соответственно уменьшают $\beta_{отх}$ с учетом (5.4) и (5.5)
5	$Q_0 = Q_0^*$; $\beta_{ш} > \beta_{макс}^{ш}$, $\beta_{общ} \in [\beta_{мин}^{общ}, \beta_{макс}^{общ}]$; $\beta_{отх} \in [\beta_{мин}^{отх}, \beta_{макс}^{отх}]$	Управляющего воздействия не наносят, если $\rho_{ш} \cong \rho_{ш}^*$. В противном случае снижают $\beta_{ш}$ и соответственно увеличивают $\beta_{отх}$ с учетом (5.4) и (5.5)
	$Q_0 < Q_0^*$; ($Q_0 > Q_0^*$) $\beta_{общ} \in [\beta_{мин}^{общ}, \beta_{макс}^{общ}]$; $\beta_{ш} \in [\beta_{мин}^{ш}, \beta_{макс}^{ш}]$; $\beta_{отх} \in [\beta_{мин}^{отх}, \beta_{макс}^{отх}]$	Увеличивают (уменьшают) расход чистой воды $Q_{чв}$, проверяют: выполняется ли условие (5.3) по формуле (5.6).
7	$Q_0 = Q_0^*$; $\beta_{общ} \in [\beta_{мин}^{общ}, \beta_{макс}^{общ}]$; $\beta_{ш} \in [\beta_{мин}^{ш}, \beta_{макс}^{ш}]$; $\beta_{отх} \in [\beta_{мин}^{отх}, \beta_{макс}^{отх}]$	Изменяют расход чистой воды, $\beta_{ш}$ и $\beta_{отх}$ с учетом (5.4), (5.5) и проверяют, выполнялось ли условие (5.3) по формуле (5.6)

8	$Q_0 \neq Q_0^*$; $\beta_{общ} \notin [\beta_{мин}^{общ}, \beta_{макс}^{общ}]$; $\beta_{ш} \notin [\beta_{мин}^{ш}, \beta_{макс}^{ш}]$; $\beta_{отх} \notin [\beta_{мин}^{отх}, \beta_{макс}^{отх}]$	Изменяют расход чистой воды, $\beta_{ш}$ и $\beta_{отх}$ с учетом выполнения условия (5.3), (5.4), (5.5). В противном случае необходимо в системе устранить неисправности
---	--	---

Примечание. В случае $\beta_{отх} > \beta_{макс}^{отх}$ или $\beta_{отх} < \beta_{мин}^{отх}$ и любых колебаниях $\beta_{ш}$ ($\beta_{ш} > \beta_{макс}^{ш}$, $\beta_{ш} < \beta_{мин}^{ш}$) управление ведется аналогично п.4 и 5.

5.3. Эколого-экономическое управление производственно-транспортными потоками ПЭС

При создании ИАСУ ОФ важно учесть всевозможные потоки и соответствующие им обрабатывающие устройства (операционные модули (ОМ)), которыми богаты любые промышленные объекты непрерывного типа, к которым и относятся современные ОФ.

Общую производственно-транспортную и экологическую схему всей углеобогатительной технологии можно упрощенно представить в виде рис. 5.13, а в частности, для процесса сушки информационно-экологические потоки можно представить в виде рис. 5.14.

На рис. 5.13 приняты следующие обозначения: C_1 — угольная пыль; C_2 — зола; C_3 - CO —оксид углерода; C_4 - SO_2 — двуоксид серы; C_5 - NO_2 — двуоксид азота; C_6 — сероводород (H_2S); C_7 — нефтепродукты; C_8 — твердые частицы; C_9 — растворы и оснований; C_{10} — флотореагенты, флокулянты; C_{11} — породные отходы; C_{12} — магнетит.

Обобщенная модель и автоматизация управления многоуровневой структурой ОФ. Проектирование и внедрение интегрированной системы эколого-экономического управления углеобогатительными фабриками является актуальной проблемой для создания локальных, региональных и государственных систем экологического мониторинга. В работе предложена эколого-экономическая и технологическая модель ОФ на языке ОМ и потоков, показана концепция управления операционными модулями всех уровней и их взаимосвязь на основе интегральных и локальных критериев эффективности, а также приведены алгоритмы и варианты программной реализации предложенных моделей и процессов управления.

Постановка задачи. ОФ является многомерной многоуровневой иерархической системой, для моделирования и управления которой требуются обоснованная декомпозиция и моделирование отдельных подсистем соответствующих уровней и установление их взаимосвязи, а также координации функционирования всей системы. При этом целесообразно использовать модульный принцип и унификацию для последующего конструирования обобщенной модели всей ОФ из полученных операционных модулей. Итак, требуется построить обобщенную модель ОФ, ее

уровней и синтезировать соответствующие критерии и законы локального и глобального управления.

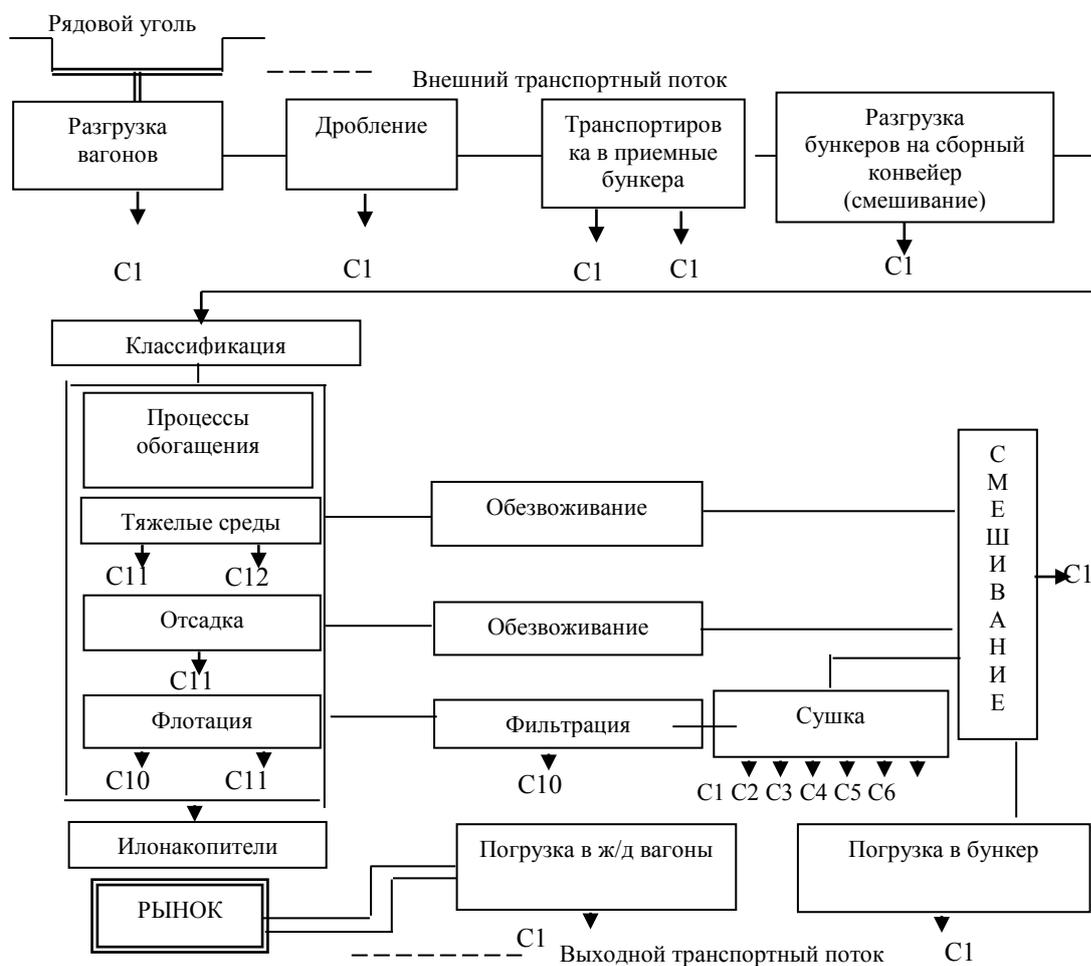


Рис. 5.13. Транспортно – экологические потоки ОФ

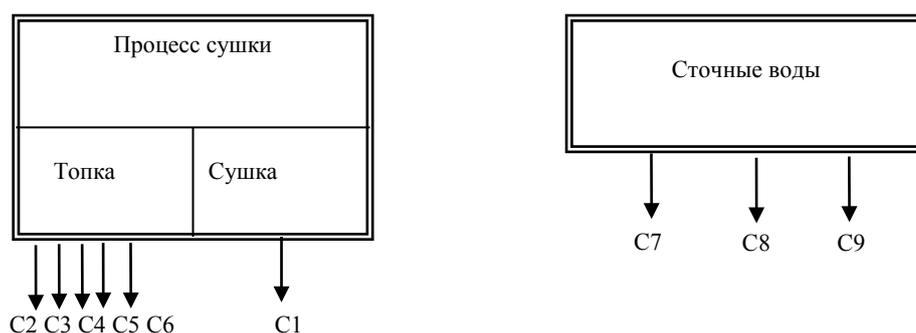


Рис. 5.14. Приоритетные экологические потоки

Введем следующие определения, символику и обозначения.

Определение 1. Операционным модулем ОФ будем называть подсистему (процесс) обработки информации, преобразования транспортных, экологических, энергетических и материальных потоков. ОМ — это узлы приема, обработки и передачи потоков, т.е. это пункты сырья и ресурсов, технологические установки, пункты хранения и реализации продукции. ОМ описываются вектором параметров,

характеризующих его функциональные возможности. ОМ служат узлами синтезируемого орграфа и представляют собой в общем гибридные структуры.

Типовыми ОМ ОФ являются: M — пункт углеприема и углеподготовки; M^H — пункты промежуточного хранения; M^X — углеобогатительные процессы; M^O — пункты реализации; M^P — пункт диспетчеризации; M^I — информационные пункты и др.

Определение 2. Поток — это объект для обработки и преобразования в некоторой технологии. Поток — это вектор параметров связи между ОМ (ребра орграфа), характеризующие его количественные и качественные свойства. Возможными потоками являются: материальный, транспортный, информационный, экологический, энергетический, управляющий и др.

Обозначим через M_{kv}^r - k -й ОМ r -го типа v -го уровня иерархии, т.е. ОФ есть пара:

$$S = \langle \{M_{kv}^r\}, v = 0, 1, 2; \{P_{ij}(t)\} \rangle,$$

где $M^0 = \langle M_1^0, \dots, M_{N_0}^0 \rangle$ — множество ОМ 0-го уровня (офисные модули); $M^1 = \langle M_1^1, \dots, M_{N_1}^1 \rangle$ — множество ОМ 1-го уровня (диспетчерский уровень), обычно $N = 1$; $M^2 = \langle M_1^2, \dots, M_{N_2}^2 \rangle$ — множество ОМ 2-го уровня r -го типа, причем $M^C = \langle M_1^C, \dots, M_{N_C}^C \rangle$ — множество источников сырья и ресурсов шахтогруппы и т.п.); $M^P = \langle M_1^P, \dots, M_{N_P}^P \rangle$ — множество пунктов реализации готовой продукции; $M^T = \langle M_1^T, \dots, M_{N_T}^T \rangle$ — множество ОМ производственно-технологического назначения.

Потоки на ОФ:

$$P_{ij}(t) = \langle P_{ij}^M(t), P_{ij}^C(t), P_{ij}^{\text{ЭН}}(t), P_{ij}^{\text{ТП}}(t), P_{ij}^{\text{ЭК}}(t), P_{ij}^Y(t) \rangle,$$

где $P_{ij}^M(t)$ — материальный поток, причем $P_{01}^M(t)$ — поток сырья; P_{ij}^I — информационный поток между элементами $i \in$ (блоками, ОМ) и j ; $P_{ij}^{\text{ЭН}}$ — энергетический поток; $P_{ij}^{\text{ТП}}$ — транспортный поток; $P_{ij}^{\text{ЭК}}$ — экологический поток (вредные выбросы (ВВ)); P_{ij}^Y — управляющий поток. Причем $P^C(t) = P_0(t) = P(t)$ — поток сырья; $P^n(t) = P_N(t) = P(t)$ — поток продукции (товара).

Каждый поток является вектором параметров, характеризующим количественные и качественные свойства потока.

Обобщенная графовая структура ОФ представляет собой кортеж вида:

$$F = \langle \text{ОМ}, \Pi \rangle = \langle M, P \rangle,$$

где ОМ — операционные модули (узлы), причем $\text{ОМ} = \{ M \}$;

Π — потоки, причем $n = \{ P_{ij}^S(t) \}$, (S -го типа, см. выше).

Упрощенная модель структуры ОФ на языке ОМ и потоков представлена в виде схемы (рис. 5.15):

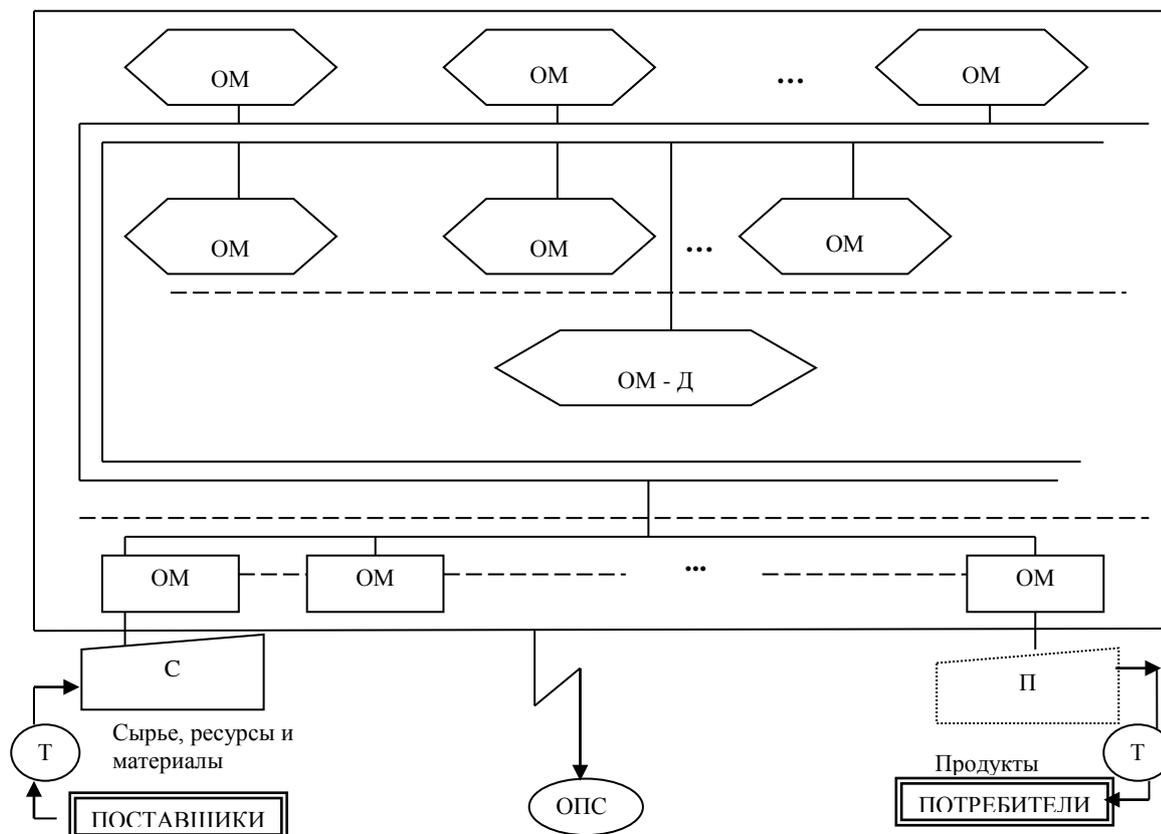
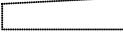


Рис. 5.15. Общая модель ОФ на основе ОМ.

Обозначения символов:

-  - операционный модуль информационного типа,
-  - операционные модули технологических процессов
-  - операционные модули приема и хранения сырья
-  - операционные модули реализации продукции
-  - операционные модули реализации продукции
-  - операционные модули диспетчерского управления

Все ОМ здесь классифицируются на три основных типа: производственные ОМ; информационные ОМ диспетчера и учрежденческой деятельности ОФ и транспортные ОМ. В частности, сетевую структуру подсистемы "Транспорт" ОФ теперь можно представить в виде рис. 5.16.

Основные функции ОМ по транспорту ОФ: ОМ — учет, планирование и управление процессами углеприема и углеподготовки, т.е. прием ж/д вагонов с рядовыми углями, разгрузка, распределение угля по бункерам, подготовка шихты; ОМ — реализация продукции ОФ, т.е. загрузка ж/д вагонов до заданного веса (+250

кг), формирование и отправление ж/д состава; ОМ — вывоз породы, т.е. разгрузка породы из бункеров в самосвалы и учет вывоза породы в отвал.

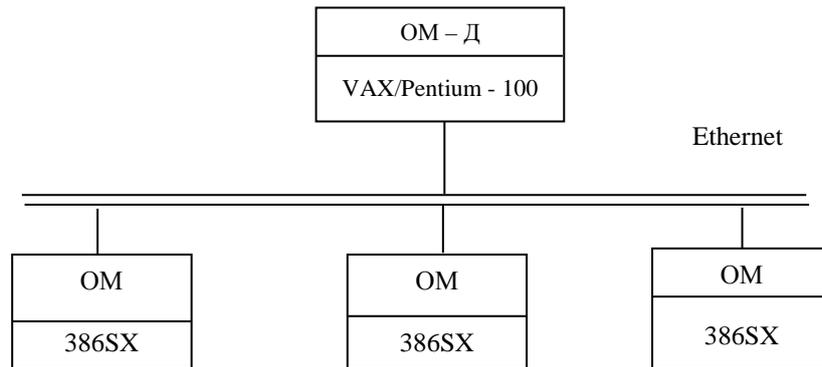


Рис. 5.16. Упрощенная сетевая структура подсистемы «Транспорт».

Построение математических моделей операционных моделей ОФ покажем на примере следующего узла графа (рис. 5.17):

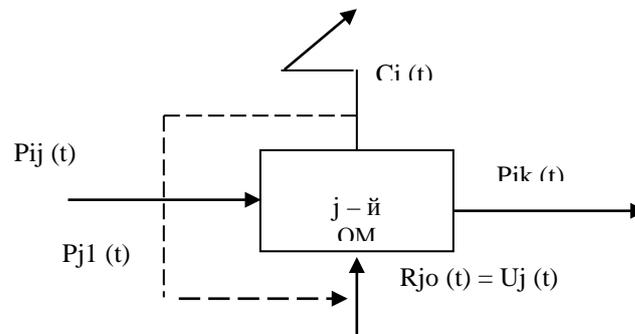


Рис. 5.17. ОМ и потоки как элемент графовой модели ОФ.

Здесь $P_{ij}(t)$ — входной поток из i -го ОМ в j -й ОМ; $P_{jk}(t)$ — выходной поток из j -го ОМ в k -й ОМ; $C_i(t)$ — поток выбросов; $R_i(t)$ — регулируемый поток (ресурсы, реагенты, вода и т.п.), а пунктирная линия показывает потоки возможных рециклов (регенерации) для некоторых ОМ (например, вода в ВШС).

Пусть $I(j)$ — множество входных потоков в j -й ОМ, $O(j)$ — множество выходных потоков из j -го ОМ, причем $I = I_1 + I_2$, где $I_1 = \{P_{ij}(t)\}$, $I_2 = \{C_j(t)\}$, а $J = J_1 + J_2$, где $J_1 = \{P_{ik}(t)\}$, $J_2 = \{C_j(t)\}$.

Здесь и далее $t \in [t_0, t_k]$. Обозначим через $x_k(t)$ — потенциальное количество (запас) некоторого объема продукта (материального, информационного и т.п.) в k -м ОМ; $n_{ij}(t)$ — пропускная способность для канала " $i - j$ " $n_{\Sigma j}(t)$ — суммарная пропускная способность j -го ОМ в момент времени t ; $U_j(t)$ — поток управляющих воздействий на j -ой ОМ.

Таким образом, будем иметь следующий фрагмент графовой модели (рис. 5.18).

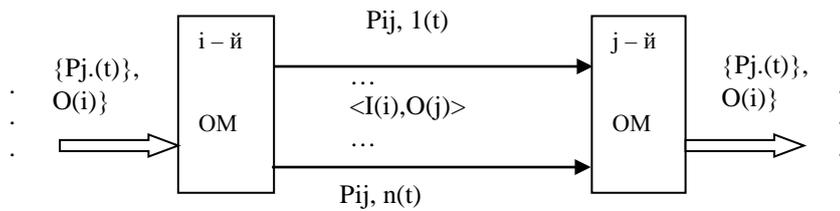


Рис. 5.18. Фрагмент ОМ

На основе балансовых уравнений теперь можно получить модель j -го ОМ представленных на рис. 5.17 или 5.18, в виде следующих дифференциальных уравнений:

$$dx_i(t)/dt = \sum_{j=1}^n P_{ij}(t) - \sum_{k=1, k \neq i}^n P_{ik}(t) + R_i(t) - [C_i(t)], j = \overline{1, n}.$$

Здесь $R_i(t) = R_{i0}(t) + [R_{i1}(t)]$ и $C_i(t)$ — суммарные выбросы и отходы в производственных ОМ, а $[.]$ — слагаемые, которые могут отсутствовать в моделях некоторых ОМ, а n — число ОМ на данном уровне.

Следует отметить, что

$$P_{ij}(t) = F_{ij}[R_i(t), P_{ki}(t), k \in I(i), j \in O(i)]$$

и

$$\{R_i; P_{ki}; k \in I(i); P_{ij}, \forall j \in O(I)\} \in D,$$

где D — некоторые замкнутые области ограничений, а $0 < x_i(t) < x_i^*(t)$, причем $X(0)$ — начальное содержание в i -го ОМ.

Положим, что $P_{ij}(t) = a_{ij}x_j(t)$ и $C_i(t) = b_i x_i(t)$.

Объединяя приведенные уравнения и учитывая предположения, можно в итоге получить многомерную модель в виде матричного билинейного дифференциального уравнения вида:

$$dX/dt = AX + BXV + EU,$$

где X — обобщенный вектор/матрица состояния, V — мультипликативный вектор локального управления, U — вектор координирующего (диспетчерского) управления.

Заметим, что критерии локального и глобального управления в интегрированном виде представлены в главе 4 данной работы.

Выводы по разделу 5

1. Показано, что транспортную систему ПС (ОФ) как объект управления целесообразно представить как совокупность внешней и внутренней транспортных подсистем. Для автоматизации управления этим комплексом разработана структура и сформирована подсистема “Транспорт”, входящая в интегрированную систему ЭЭУ ОФ и обеспечивающая функции оперативного планирования работы транспортного узла. Подсистема функционирует на базе имитационного моделирования, учета и прогнозирования основных параметров внешнего потока, а также моделирования и формирования базы данных и знаний по внутреннему транспорту ОФ.

2. Разработан программный комплекс имитационного моделирования для автоматизации оперативного планирования и управления внешним транспортным узлом, основанный на теории систем массового обслуживания и входящий в общее программное обеспечение подсистемы “Транспорт”.

3. Разработана информационно-справочная и поисковая система по учету, планированию, прогнозированию основных параметров внешних транспортных потоков и выдаче соответствующих документов для подсистемы “Транспорт” ОФ, имеющая удобный для пользователя интерфейс взаимодействия оператора с рабочей станцией компьютерной сети (АРМ оператора по транспорту).

4. Получены модели внутренних транспортных потоков и критерии экологического управления для водно-шламовой системы ОФ, которая включает процессы флотации, фильтрования, сгущения шламов и осветления воды. На основе продукционного подхода моделирования знаний создан блок базы знаний для программного обеспечения АРМа оператора по внутреннему транспорту, позволяющий получить варианты решений в различных ситуациях трудно формализуемости информации.

5. Используя понятия «операционные модули» (блоки преобразования в сложных неоднородных системах) и «потоки», получают обобщенную модель экологического управления производственно-транспортными комплексами ОФ для СЭЭМ в виде граф-структур и матричного билинейного дифференциального уравнения, которое включает как локальную, так и координирующую управляющую переменную.

РАЗДЕЛ 6

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ В ЗОНЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Под загрязнением атмосферы понимается присутствие в ней одного или нескольких ингредиентов в таких количествах, что они могут нанести непоправимый вред здоровью или ОПС. Например, кислотные дожди, которые губят леса, обусловлены сжиганием высокосернистых углей на теплоэлектростанциях. Основными загрязнителями атмосферы в промышленно развитых странах являются [183-189]: теплоэнергетические установки, сжигающие твёрдое топливо (на их долю приходится половина суммарных выбросов сернистого газа и оксидов азота); предприятия угольной и чёрной металлургии; коксохимические комплексы; транспортные средства.

В настоящее время расходы на охрану воздушной среды (ВС) отстают от размеров ущерба от её загрязнения. Решение проблемы охраны ВС связано с оптимальным сочетанием технико-экономических и экологических показателей. Базой для рационального решения указанных проблем являются интегрированные системы контроля, прогноза и управления качеством ВС.

Луганская область характеризуется высокой концентрацией промышленного производства, при этом в окружающую среду выделяются пыль, сажа, окислы серы, азота, углекислый газ и другие вредные вещества. По напряженности экологической обстановки область является одной из самых неблагоприятных в Украине. Для контроля за окружающей средой, прогноза развития процессов загрязнения среды, управления экологическими процессами, эксплуатации экологических систем составляются и исследуются различные модели процессов, протекающих в окружающей среде.

В приложении 3 представлен вариант реализации предложенной динамической модели прогнозирования состояния атмосферных процессов, а в приложении П7 приведены результаты компьютерных расчетов.

6.1. Современные парадигмы моделирования и мониторинга системы “Человек – Окружающая среда” в техногенном регионе

Проблема совершенствования методов моделирования и мониторинга системы «Человек-Окружающая среда» («Ч-ОС») требует пересмотра существующих и использования новых парадигм. Это особенно важно в условиях возникновения эколого-экономических кризисов, катастроф и ухудшения природных условий воспроизводства трудовых ресурсов в регионах со сложной техногенной обстановкой.

Экологическая ситуация в Луганской области, несмотря на сокращение промышленного производства некоторых отраслей экономики, в целом остается достаточно сложной. Например, в 1999 году стационарными источниками предприятий области было выброшено в атмосферный воздух 445,36 тыс.т

загрязняющих веществ. Однако снижение объема выбросов произошло преимущественно в промышленных городах и районах области и обусловлено, в первую очередь, спадом производства. Наибольшее количество загрязняющих веществ выбрасывается в атмосферный воздух в городах: Луганск (134,91 тыс.т), Алчевск (84,15 тыс.т), Краснодон (40,9 тыс.т), Стаханов (36,05 тыс.т), Лисичанськ (20,98 тыс.т), Красный Луч (17,8 тыс.т).

Основными загрязнителями воздуха остаются предприятия энергетической, угольной и металлургической промышленности. Хотя их участие в общем количестве предприятий, которые загрязняют воздушный бассейн области, сравнительно незначительно (11%), тем не менее ими выбрасывается около 80% вредных веществ.

Ежегодно на предприятиях области получается более 12 млн. т промышленных отходов. В настоящее время в области в организованных местах складирования накоплено около 75 млн. т токсичных отходов, в том числе 1-го и 2-го класса опасности — 50 тыс. т. В области насчитывается 530 породных отвалов, занятая ими площадь - 2744 га с общим объемом складированной породы 588 млн м³. Не меньшую угрозу для окружающей среды области составляют и бытовые отходы.

Закрытие угольных шахт в Луганской области приводит к изменениям в окружающей среде, в особенности при невыполнении требований по ее охране с учетом геологических и других естественных условий. Для снижения отрицательных последствий ликвидации шахт необходимо: недопущение выхода шахтных вод на поверхность при водоотливе, устройство горизонтального дренажа, сбора, очищения и сброса шахтных вод в речную сеть; снижение опасности, связанной с проникновением шахтных газов на поверхность путем бурения дегазационных буровых скважин и организации газового контроля; устранение возможных последствий сдвигов земной поверхности, для чего провести обследования сооружений и зданий и разработать рекомендации по дальнейшей их эксплуатации.

К основным экологическим проблемам области, которые требуют первоочередного решения, относятся: улучшение экологического состояния бассейна реки Северский Донец, защита от загрязнения водозаборов централизованного снабжения питьевых подземных вод, улучшение качества питьевой воды; стабилизация и улучшение экологического состояния районов массового закрытия нерентабельных и неперспективных шахт, в первую очередь Стахановского и Краснодонского районов; решение проблемы сбора, утилизации и переработки отходов; создание системы экономических и налоговых льгот и условий с целью стимулирования работ по сбору, утилизации и переработке отходов; решение проблемы финансирования природоохранных мероприятий;

усовершенствование системы взыскания сбора за загрязнение окружающей среды, платы за использование природных ресурсов и финансирования природоохранных мероприятий.

С целью комплексного решения указанных и других экологических проблем актуально создание интегрированных эколого-экономических систем мониторинга, моделирования, управления и принятия эффективных решений (ИЭЭС) [7,9].

Заметим, что существующие системы мониторинга имеют ряд недостатков: отсутствие автоматизированных средств контроля приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе промышленных центров региона; как следствие — запоздалое получение информации природопользователями и контролирующими организациями об изменении качества окружающей среды под воздействием антропогенных факторов и не применение этой информации для принятия решений по снижению воздействия; отсутствие необходимых условий для оперативного регулирования качества окружающей среды; высокая дискретность измерений на водных объектах; отсутствие методов идентификации источников загрязнения; устаревшие методы анализов и средства измерения; сокращение гидрологических станций и постов наблюдений не позволяет достоверно представлять информацию о гидрологическом и гидрохимическом состоянии водных объектов. Информация, которая может быть использована от действующей системы мониторинга, следующая: режимная информация, характеризующая дозу воздействия на окружающую среду и человека; оперативная информация, характеризующая превышение ПДК по отдельным ингредиентам в выбранные промежутки времени; прогноз неблагоприятных метеорологических условий, при которых возможно повышенное загрязнение атмосферного воздуха в населенном пункте.

Для эффективного мониторинга и управления в системе «Ч-ОС» необходимо: восполнить нормативную и законодательную базу управления источниками загрязнения окружающей природной среды; создать эффективную информационную систему; создать эффективную систему подготовки специалистов в области управления окружающей средой; способствовать внедрению современных систем мониторинга всех сред окружающей природной среды и источников воздействия.

Компоненты и структура ИЭЭС. Реализация государственной политики в области охраны окружающей среды, обеспечения экологической безопасности и рационального использования природных ресурсов, ориентированной на принципы устойчивого развития страны в целом и отдельных ее регионов, требует применения эффективной системы управления процессом принятия эколого-экономических решений, в которой следует опираться на достоверную и своевременную информацию о природных средах, источниках антропогенного воздействия на них, существующих и возможных последствиях этих воздействий. Получение такой информации для принятия решений как на государственном, так и региональных уровнях управления должно обеспечиваться Единой государственной системой эколого-экономического мониторинга окружающей природной среды, природных ресурсов и антропогенных источников воздействия на них.

Предлагаемая интегрированная система и стратегия управления экологическим природопользованием в условиях переходной экономики и рыночных отношений базируется на нелинейном моделировании, экологическом мониторинге, менеджменте и включает в себя такие элементы инфраструктуры, как экологический маркетинг и экологический аудит.

Нелинейные технологии в системе «Ч-ОС». Вопросам разработки теории и методов исследования нелинейных динамических систем с хаотическим поведением и их применения для создаваемых систем экологического и экономического в Украине уделяется недостаточное внимание.

По аналогии явлению нерегулярного (хаотического) движения в нелинейных системах был присвоен термин *динамический*, или *детерминированный*, *хаос*. Наблюдаемое хаотическое поведение возникает не из-за внешних источников шума, не из-за большого числа степеней свободы и не из-за неопределенности, связанной с квантовой механикой. Оно порождается собственной динамикой нелинейной детерминированной системы. В фазовом пространстве такому поведению соответствует *странный аттрактор*. Как известно, предсказать поведение траекторий хаотических систем на длительное время невозможно, поскольку чувствительность к начальным условиям высока, а начальные условия можно задать лишь с конечной точностью. Внутри хаоса существует скрытый порядок, геометрическим проявлением которого являются фрактальные структуры.

При анализе и управлении этими сложными динамическими нелинейными объектами на определенном этапе их развития и специфических условиях функционирования или при некоторых значения параметров возникает хаотическое поведение, которое не поддается прогнозированию традиционными подходами. Подобные проблемы возникают в первую очередь в экономических и экологических системах, которые моделируются дифференциальными и разностными уравнениями. Анализ поведения этих систем, выявление причин, его изменяющих, могут способствовать предупреждению этих проявлений или, по крайней мере, стабилизации их развития через принятие специальных мер

Для решения указанного класса проблем эффективной оказывается разработка методов и моделей исследования теории нелинейной динамики и синергетики и компьютерного моделирования с учетом разнородной (гибридной) информации. Такие модели и методы обладают соответствующей гибкостью к обучению и способны стабилизировать режимные параметры нелинейных процессов в экономике и экологии. При этом достигается возможность также и подавлять, и управлять хаотическим поведением динамического объекта при различной степени автоматизации.

При анализе хаотических динамических процессов следует учитывать фрактальный характер геометрических объектов, связанных с динамической системой. Одним из наиболее содержательных подходов к фрактальному анализу динамических процессов опирается на предположение о том, что изучаемый процесс порождается динамической системой конечной размерности с хаотическим поведением.

Динамические процессы в эколого-экономических системах (ЭЭС) и в системе «Ч-ОС» в целом являются альтернативой статистическим процессам и для их

описания применяются чаще всего не эмпирические алгебраические, а дифференциальные и разностные уравнения. ЭЭС, функционирующие в условиях переходной экономики и рыночных отношений, характеризуются существенно нелинейным поведением и наличием сложных многомерных обратных связей, а традиционные методы моделирования таких систем, как правило, линейны, кроме того, эконометрические модели в качестве обязательного компонента включают в себя случайную переменную, с помощью которой пытаются объяснить колебания состояния системы относительно некоторого «среднего», предсказуемого состояния. В традиционных моделях эколого-экономических систем изменчивость поведения объясняется внешними случайными воздействиями. Альтернативным подходом к моделированию сложных эколого-экономических систем является применение принципов и методов нелинейного анализа и синергетики. Заметим, что модели на основе нечеткой логики, нейросетевой технологии, генетические алгоритмы, гипертекстовые технологии и объектно-ориентированные информационные технологии также относятся к моделям нелинейной технологии. Можно указать на ряд важных применений нелинейного моделирования, теории хаоса и теории катастроф в социально-экономических и экологических системах.

6.2. Математическая модель динамики распространения примеси

Одной из наиболее важных задач является распространение вредных примесей в окружающей среде: атмосфере, почве и воде. Обычно в качестве математической модели такого распространения принимается дифференциальное уравнение в частных производных 2-го порядка, называемое уравнением диффузии [183,190,196]:

$$Lu = c \frac{du}{dt} - \operatorname{div}(D \operatorname{grad} u) = 0, \quad (6.1)$$

где c — коэффициент пористости; D — коэффициент диффузии; $u(x,t)$ — концентрация вещества в точке x среды в момент времени t .

Здесь подразумевается, что в рассматриваемой области отсутствуют источники вещества и диффузия во внешнюю среду и уравнение (6.1) называется однородным. Если в рассматриваемой области имеются источники вещества с объемной плотностью распределения $F(x, t)$, то процесс диффузии описывается неоднородным уравнением с правой частью $F(x, t)$. Учет распада или размножения вещества со скоростью, пропорциональной наличной концентрации, приводит к члену $\lambda \frac{du}{dx}$ в правой части, т.е. получаем такое уравнение диффузии:

$$c \frac{du}{dx} - \operatorname{div}(D \operatorname{grad} u) = F(x, t) + \lambda \frac{du}{dx}. \quad (6.2)$$

Однако такая модель не учитывает погодных условий (температуры, атмосферного давления, направления и скорости ветра) и других факторов, которые могут существенно повлиять на распространение вредных примесей. В реальных условиях практически невозможно учесть все влияющие на процесс факторы,

поэтому лучше заменить действие части из них случайными факторами, т.е. рассматривать такую модель

$$Lu = F(x, t) + \eta(x, t), \quad (6.3)$$

где $\eta(x, t)$ — случайный процесс с известным математическим ожиданием $M_\eta(x, t) = m(x)$ и ковариационной функцией $B(x, s, t)$.

Очевидно, что для решения задачи (6.3) необходима не только информация о начальных условиях, но и статистические данные о протекающих процессах, которые позволят адаптировать решение в соответствии с реальными данными. Наличие статистической информации необходимо также по той причине, что входящие в уравнение коэффициенты, как правило, не поддаются точному определению.

6.3. Основные подходы к математическому моделированию состояния окружающей среды в окрестности ПЭС

Применяются обычно два метода исследования: эмпирический и теоретический. В первом случае идут по пути обобщения эмпирически установленных закономерностей, во втором исходят из строгого теоретического рассмотрения проблемы.

При экспериментальном методе исследования получается высокая достоверность получаемых частных результатов, недостаток же этого подхода заключается в ограниченной ценности результатов, в привязанности к конкретному явлению. С другой стороны, теоретическое рассмотрение проблемы позволяет получить наиболее общую связь между существенными для явления величинами и характеризует свойства, присущие всем явлениям данного класса, но при теоретическом методе исследования не представляется возможным прогнозировать природный процесс без знаний конкретных коэффициентов модели. Следовательно, будущее принадлежит методам, дополняющим экспериментальное исследование теоретическим.

В настоящее время исследуются следующие подходы к моделированию природных систем.

Первый — прогнозные и расчетные методы на основе составления и решения дифференциальных уравнений [183,191].

Рассмотрим решение уравнения (6.2), которое детализируем. Реально в атмосфере распространяется не один, а несколько загрязнителей, поэтому рассмотрим уравнение многокомпонентной диффузии. Пусть всего будет n компонент загрязнителя. Введем следующие обозначения: m_i — относительная массовая концентрация i -го загрязнителя и m_n — самого воздуха, $i = \overline{1, n}$; M_i — молекулярная масса i -ой компоненты; $M = \sum_{j=1}^n m_j M_j$ — молекулярная масса всей

смеси; $r_i = \frac{m_i}{M_i} M$ — мольная доля i -ой компоненты; D_{ij} — коэффициенты бинарной диффузии; D_{Ti} — коэффициент термодиффузии; p — давление; T — температура смеси; ρ — плотность смеси; I_i — мощность источников i -ой компоненты; \vec{v}_i — линейная скорость движения i -ой компоненты; $\vec{v}_i^D = \vec{v}_i - \vec{v}$, где \vec{v} — линейная скорость смеси.

Уравнение многокомпонентной диффузии в этих обозначениях принимает вид :

$$\begin{aligned} \text{grad } r_i = & \sum_{j=1}^n \frac{r_i r_j}{D_{ij}} (\vec{v}_j^D - \vec{v}_i^D) + \sum_{j=1}^n \frac{r_i r_j}{\rho D_{ij}} \left(\frac{D_{Tj}}{m_j} - \frac{D_{Ti}}{m_i} \right) \frac{\text{grad } T}{T} + \\ & + (m_i - r_i) \frac{\text{grad } p}{p} + \frac{1}{p} \sum_{j=1}^n m_i m_j (I_i - I_j). \end{aligned} \quad (6.4)$$

Если компоненты загрязнителей слабо взаимодействуют между собой, то можно рассматривать бинарную смесь воздух-загрязнитель и уравнение (6.4) можно записать так

$$\begin{aligned} \rho m_1 \vec{v}_1^D = & -\rho D \left[\text{grad } m_1 + \frac{D_{T1}}{\rho D} \frac{\text{grad } T}{T} - \frac{m_1 m_2}{r_1 r_2} \frac{\text{grad } p}{p} \times \right. \\ & \left. \times (m_1 r_1) - \frac{(m_1 m_2)^2}{r_1 r_2} (\vec{F}_1 - \vec{F}_2) \right], \end{aligned} \quad (6.5)$$

где $\vec{F}_i, i = 1, 2$ - вектор массовых сил, действующих на единицу массы вещества.

В реальных процессах термодиффузионное соотношение $kT = \frac{D_{T1}}{\rho D}$ для всех пар газообразных веществ меньше 0,1; за исключением ударных волн величина $\frac{\text{grad } p}{p}$ тоже достаточно мала, поэтому термо- и бародиффузией можно пренебречь.

Последнее слагаемое в формуле (6.5) равно 0 всегда, кроме процессов магнитной гидродинамики и тепломассопереноса в плазме. В силу этого обычно при исследовании тепломассообмена в многокомпонентных средах применяют закон диффузии Фика:

$$\rho m_k \vec{v}_k^D = \frac{M_k}{M^2} \rho \sum_{i=1}^n D_{ki} (1 - \delta_{ik}) \text{grad}(M m_i). \quad (6.6)$$

Для вычисления коэффициентов бинарной диффузии в газах можно воспользоваться формулой [68]:

$$D_{12} = \frac{A \sqrt{T^3 (1/M_1 + 1/M_2)}}{p (\sqrt[3]{V k_1} + \sqrt{V k_2}) (1 + B \sqrt{T k_1 T k_2 / T})}, \quad (6.7)$$

где D_{12} — коэффициент бинарной диффузии, м²/с; $V k_1, V k_2$ — критические объемы, м³/кмоль; $T k_1, T k_2$ — критические температуры, К; p — давление, Па.

Коэффициенты для неполярных газов $A = 0,02023$; $B = 1,1756$; для систем, включающих комбинации полярных и неполярных газов, $A = 0,02023$; $B = 0,90116$.

При независимой диффузии компонентов дифференциальное уравнение записывается так:

$$\frac{\partial(\rho m_k)}{\partial t} + \text{grad}(\rho \vec{v} m_k) = \text{grad}(\rho D_k \text{grad} m_k) + I_k. \quad (6.8)$$

Если плотность среды постоянна и постоянен коэффициент диффузии k -го компонента в смеси, то (6.8) можно записать следующим образом:

$$\frac{\partial m}{\partial t} + \text{grad}(\vec{v} m) = D \text{grad}(\text{grad} m) + \frac{I}{\rho}. \quad (6.9)$$

Используя уравнение неразрывности, учитывая разложение загрязнителя, окончательно получаем:

$$\rho \left(\frac{\partial m}{\partial t} + \vec{v} \text{grad} m \right) = \text{grad}(\rho D \text{grad} m) + I \quad (6.10)$$

или без обозначений векторного анализа, с учетом того, что концентрация загрязнителя $U = \rho m$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + v_x \frac{\partial u}{\partial x} + v_y \frac{\partial u}{\partial y} + v_z \frac{\partial u}{\partial z} = \\ = \frac{\partial u}{\partial x} D_x \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} D_y \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} D_z \frac{\partial}{\partial z} - \alpha u + J(x, y, z, t), \end{aligned} \quad (6.11)$$

где u — учитывает превращение загрязнителя; $J(x, y, z, t)$ — функция источников загрязнения:

$$J(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^N \gamma_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - H_i) \mu_i(t). \quad (6.12)$$

Здесь $\mu_i(t)$ — характеристическая функция i -го источника загрязнения; γ_i — выброс вещества в единицу времени; N — число источников загрязнения; x_i, y_i, H_i — координаты источника.

Для каждого конкретного случая уравнение (6.12) можно либо упростить за счет мало влияющих факторов, либо дополнить некоторыми членами, позволяющими учесть вновь возникающие или незаслуженно отброшенные факторы.

6.4. Экосреда как управляемый марковский процесс и его прогноз

Обоснование применимости метода. Представляется вполне естественным рассматривать экологическую систему как цепь Маркова с учетом управляющих факторов. В самом деле, если мы имеем полную информацию о состоянии системы в некоторый момент времени t и известны все управляющие воздействия на систему, то ничем другим (т.е. информацией о прошлых состояниях) состояние системы в момент времени $t+dt$ не определяется. Естественно, т.к. полную информацию о состоянии системы и внешних воздействиях получить невозможно, то и состояние в следующий момент времени можно определить лишь с

определенной вероятностью. Можно получить вероятностное распределение возможных состояний, либо, что, видимо, более перспективно, "наиболее вероятное" состояние, т.е. матожидание состояния с помощью имитационной модели.

Таким методом можно решать следующие задачи:

1) стационарное распределение состояний системы при условии постоянства управляющих воздействий или таких воздействий, которые допускают стационарное распределение;

2) долгосрочный прогноз состояния экологической системы, рассматриваемой как единое целое во времени, т.е. динамический прогноз;

3) краткосрочный прогноз развития состояния системы на период времени от t (начало прогноза) до t_1 (конец прогноза) с шагом Δt ;

4) выбор доступных исследователю управляющих воздействий с целью оптимизации экологического состояния системы.

Рассмотрим возможные алгоритмы реализации данного метода на следующем примере, т.е. пусть в некоторой замкнутой области, прилегающей к земной поверхности в зоне углеобогатительного объекта, необходимо определить концентрацию некоторого загрязнителя.

Исходные данные алгоритма. Будем считать, что определены следующие исходные данные (считаем начальный момент времени $t_0 = 0$):

1) температура в градусах Кельвина $TK(0)$ и прогноз температуры в виде

$$TK(t) = \varphi_{TK}(t) + \xi_{TK}(t), \quad (6.13)$$

где $\varphi_{TK}(t)$ — неслучайная составляющая изменения температуры, $\xi_{TK}(t)$ — случайная величина с ф.р. $A_{TK}(x, t)$, характеризующая отклонение от прогноза;

2) давление в паскалях $PP(0)$ и прогноз ее в виде:

$$PP(t) = \varphi_{PP}(t) + \xi_{PP}(t), \quad (6.14)$$

где смысл $\varphi_{PP}(t), \xi_{PP}(t), A_{PP}(x, t)$ тот же, что и для TK ;

3) влажность воздуха $HP(0)$ в процентах и ее прогноз в виде:

$$HP(t) = \varphi_{HP}(t) + \xi_{HP}(t); \quad (6.15)$$

4) скорость ветра $VA(0)$ и ее прогноз в виде:

$$VA(t) = \varphi_{VA}(t) + \xi_{VA}(t); \quad (6.16)$$

5) направление ветра $DA(0)$ в радианах от направления оси X $0 \leq DA(t) < 2\pi$ и его прогноз в виде:

$$DA(t) = \varphi_{DA}(t) + \xi_{DA}(t); \quad (6.17)$$

6) область S трехмерного пространства, будем считать ее параллелепипедом;

7) рельеф земной поверхности $z(x, y)$;

8) координаты источников загрязнения $(x_i, y_i, z_i), i = \overline{1, M}$;

9) интенсивности источников загрязнения в зависимости от времени

$$\mu_i(t) = \varphi_{\mu_i}(t) + \xi_{\mu_i}(t), \text{кг/с}; \quad (6.18)$$

10) характеристики загрязнителя:

а) коэффициент диффузии $D(TK, PP, HP)$;

б) коэффициент поглощения почвой $\lambda(TK, PP, HP)$;

в) коэффициент вертикального дрейфа $DR(ТК, РР, НР)$;

11) начальная концентрация $C(x, y, z)$ вредного вещества при $t=0$;

12) граничные условия, характеризующие прозрачность границ, поступление примеси извне, концентрацию загрязнителя на границе области и т.п.;

13) координаты мест, где проводятся измерения концентрации загрязнителя, и эти измеренные значения;

14) коэффициент разложения загрязнителя $\alpha(C^{-1})$.

Управляющими воздействиями будут параметры источников загрязнения, начальные и граничные условия.

Краткосрочный прогноз распределения концентрации загрязнителя. Разобьем область S сеткой с шагами h_x, h_y, h_z соответственно (выберем равномерный шаг $h_x=h_y=const, h_z=const$ для более простого учета влияния одной ячейки сетки на другую).

В полученных клетках сетки введем массив концентрации $C(I, J, K)$, $I = 1, N_x; J = 1, N_y; K = 1, N_z$, где $N_x=XM/h_x, N_y=YM/h_y, N_z=ZM/h_z$ и занесем туда начальные значения концентрации загрязнителя. К сожалению, из-за существенного влияния направления и скорости ветра, в особенности из-за их флуктуаций, затруднено использование сферической, цилиндрической или "плывущей по ветру" систем координат. Хотя можно рассмотреть и задачу краткосрочного прогноза распространения выброса в условиях штиля или постоянного ветра. Важное значение для точности моделирования будет играть выбор шага моделирования Δt , с тем чтобы влияние одной клетки сетки не распространялось слишком далеко, скажем, не более чем на соседние клетки, с одной стороны, но и так, чтобы влияние на соседнюю клетку было существенным. Выбор этот определяется коэффициентом диффузии, скоростью ветра и погодными условиями.

Для следующего значения $t = t + \Delta t$ вычисляем новые значения массива C послойно. При этом будем учитывать влияние только соседних клеток сетки. Затем пересчитываем для каждой пары клеток диффузию с учетом скорости и направления ветра, пересчитывается изменение концентрации с учетом прозрачности границ, поглощения и отражения частиц загрязнителя земной поверхностью. Вычисляем новые значения температуры, влажности и т.д. и переходим к новому шагу.

Пересчет концентрации производим по следующей схеме. Рассмотрим отдельную ячейку сетки (рис. 6.1).

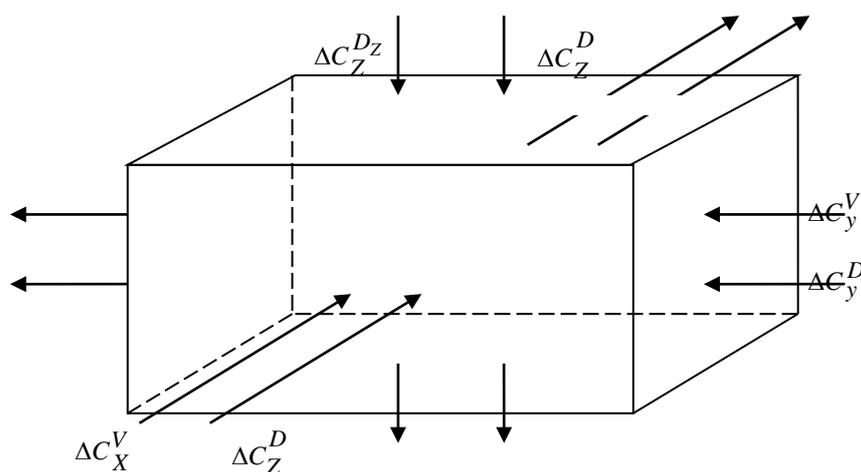


Рис. 6.1. Ячейка сетки для пересчета концентрации

Для переноса загрязнителя под действием диффузии по осям x , y и z :

$$\Delta C_x^D = -D \frac{C_2 - C_1}{h_x} h_y h_z \frac{1}{h_x h_y h_z} \Delta t = -D \frac{C_2 - C_1}{h_x^2} \Delta t, \quad (6.19)$$

$$\Delta C_y^D = -D \frac{C_2 - C_1}{h_y^2}, \quad (6.20)$$

$$\Delta C_z^D = -D \frac{C_2 - C_1}{h_z^2}. \quad (6.21)$$

Под действием вертикального дрейфа, в зависимости от его направления по оси z :

$$\Delta C_x^{Dr} = C_2 Dr \cdot h_x h_y \Delta t. \quad (6.22)$$

Под действием ветра по осям x , y :

$$C_x^V = C_2 \frac{V \cos DA}{h_x} \Delta t, \quad (6.23)$$

$$C_y^V = C_2 \frac{V \sin DA}{h_y} \Delta t. \quad (6.24)$$

Кроме того, если ячейка является нижней, т.е. соприкасается с земной поверхностью, то концентрация уменьшается на коэффициент поглощения:

$$\Delta C = -C_1 \lambda \Delta t. \quad (6.25)$$

В любой ячейке происходит разложение загрязнителя:

$$\Delta C = -C_1 \alpha \Delta t. \quad (6.26)$$

В формулах (6.19)-(6.26) использованы следующие обозначения: h_x — шаг по оси x ; h_y — шаг по оси y ; h_z — шаг по оси z ; Δt — шаг по времени; C_1 — концентрация в соседней ячейке; C_2 — концентрация в самой ячейке; ΔC — приращение концентрации загрязнителя.

Выбор шагов по осям и времени при краткосрочном прогнозе производится по следующим соотношениям. Пусть $V_{m,x}$ и $V_{m,y}$ — соответственно максимум из скоростей диффузии и проекции скорости ветра на оси x и y , а $V_{m,z}$ — максимум из

скоростей диффузии и вертикального дрейфа. Тогда $\Delta t, h_x, h_y, h_z$ должны удовлетворять системе неравенств

$$\Delta t \leq \frac{h_x}{V_{m,x}}, \Delta t \leq \frac{h_y}{V_{m,y}}, \Delta t \leq \frac{h_z}{V_{m,z}}. \quad (6.27)$$

Начальные условия во всех узлах сетки определяются по значениям концентрации загрязнителя в точках, где производятся измерения. Пусть M - число реперных точек с координатами $(x_i, y_i, z_i), i = \overline{1, M}$. Тогда если некоторая ячейка содержит i -ю реперную точку, то концентрация в ней принимается равной концентрации C_i в реперной точке. В противном случае концентрация C загрязнителя в ячейке сетки вычисляется по формуле:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^M C_i}{\sum_{i=1}^M \frac{1}{r_i}}, \quad (6.28)$$

где r_i — расстояние от i -ой реперной точки до ячейки, в которой происходит определение начального условия.

Выбор временного шага для обеспечения устойчивости расчетной схемы. Расчетная схема краткосрочного прогноза представляет собой по сути разностную схему для уравнения в частных производных типа уравнений теплопроводности:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = Lu + f(x, t).$$

Обозначим область, в которой ищем решение G и границу области Γ . Время, для которого находим решение, обозначим $[0, T]$. На границе области заданы краевые условия первого рода:

$$u = \mu(x, y, z, t), (x, y, z) \in \partial, 0 \leq t \leq T,$$

а также начальное условие при $t=0$:

$$u(x, y, z, 0) = u_0(x, y, z), (x, y, z) \in \overline{G}.$$

В нашем случае область \overline{G} представляет собой параллелепипед:

$$\overline{G} = \{(x, y, z): 0 \leq x \leq l_1, 0 \leq y \leq l_2, 0 \leq z \leq l_3\}$$

с прямоугольной сеткой с шагом h_1 по x , h_2 по y и h_3 по z . На отрезке $[0, T]$ введем шаг по времени τ . Пусть v обозначает решение сеточной задачи для концентрации u . Тогда в операторном виде разностную схему можно записать:

$$B \frac{v^{j+1} - v^j}{\tau} + Av^j = \varphi^j, \quad j = 0, 1, 2, \dots,$$

где $B = E + \delta z A$, $Av = -v$ — разностный сигнал оператора Лапласа,

φ^j — соответствует $f(x, t)$ на сетке.

Оператор A является самосопряженным и положительно определенным. Известно [74], что: $A = A^*, \delta_0 E \leq A \leq \Delta_0 E$, где

$$\delta_0 = \frac{4}{h_1^2} \sin^2 \frac{\pi h_1}{2l_1} + \frac{4}{h_2^2} \sin^2 \frac{\pi h_2}{2l_2} + \frac{4}{h_3^2} \sin^2 \frac{\pi h_3}{2l_3},$$

$$\|A\| = \Delta_0 = \frac{4}{h_1^2} \cos^2 \frac{\pi h_1}{2l_1} + \frac{4}{h_2^2} \cos^2 \frac{\pi h_2}{2l_2} + \frac{4}{h_3^2} \cos^2 \frac{\pi h_3}{2l_3}.$$

Согласно общей теории разностных схем [74] схема устойчива при

$$\sigma \geq \sigma_0, \sigma_0 = \frac{1}{2} - \frac{1}{\tau \|A\|}.$$

Решение задачи выполняется при явной схеме, поэтому имеем условие:

$$\tau \leq \frac{2}{\Delta_0} \quad \text{или} \quad \tau < \left(\frac{2}{h_1^2} + \frac{2}{h_2^2} + \frac{2}{h_3^2} \right)^{-1}.$$

Будем для простоты дальнейших выкладок считать $h_1 = h_2 = h_3 = h$.

Тогда условие устойчивости имеет вид: $\tau < \frac{h^2}{8}$.

Явная схема, (т.е. $\sigma = 0$) записывается в виде:

$$v_{i_1 i_2 i_3}^{j+1} = (1 - 2(\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3)) v_{i_1 i_2 i_3}^j + \gamma_1 (v_{i_1-1 i_2 i_3}^j + v_{i_1+1 i_2 i_3}^j) +$$

$$+ \gamma_2 (v_{i_1 i_2-1 i_3}^j + v_{i_1 i_2+1 i_3}^j) + \gamma_3 (v_{i_1 i_2 i_3-1}^j + v_{i_1 i_2 i_3+1}^j) + \tau \varphi_{i_1 i_2 i_3}^j.$$

Сумма коэффициентов при v в первой части равна 1. Если все коэффициенты неотрицательны, т.е. выполнено условие

$$\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 \leq \frac{1}{2}, \gamma_1 = \frac{\tau}{h_1^2}, \gamma_2 = \frac{\tau}{h_2^2}, \gamma_3 = \frac{\tau}{h_3^2},$$

то получаем $\|v^{j+1}\| \leq \|v^j\| + \tau \|\varphi^j\|$.

Суммируя по $k=0, 1, \dots, j-1$ получаем оценку $\|v^j\| \leq \|v^0\| + \sum_{k=0}^{j-1} \tau \|\varphi^k\|$.

Эта оценка имеет место при $\sigma \geq 1 - \frac{1}{\tau \Delta_0}$.

Для доказательства сходимости исследуем невязку:

$$\Psi = \Lambda(\sigma \hat{u} + (1 - \sigma)u) + \varphi - u_t.$$

Так как порядок аппроксимации оператором Λ оператора Лапласа L второй, т.е. $\Lambda u = Lu + O(|h|^2)$, $|h|^2 = h_1^2 + h_2^2 + h_3^2$, то $\Psi = O(|h|^2 + \tau^2) + \left(\sigma - \frac{1}{2}\right)O(\tau)$.

Для погрешности $w=v-u$ имеем задачу:

$$B \frac{w^{j+1} - w^j}{\tau} + Aw^j = \Psi^j, \quad j = 0, 1, 2, \dots, \quad w_0 = w(0) = 0.$$

Отсюда следует, что схема сходится в пространстве C со скоростью $O(\tau + |h|^2)$ при $\sigma \neq \frac{1}{2}$ и $O(\tau^2 + |h|^2)$ при $\sigma = \frac{1}{2}$.

Для погрешности w имеем оценку

$$\|w^{j+1}\|_A \leq \sum_{k=0}^j \tau \|\varphi^k\|, \quad \sigma \geq \sigma_0 = \frac{1}{2} - \frac{1}{\tau \Delta_0},$$

где

$$\begin{aligned} \|w\|_A^2 &= \sum_{i_1=1}^{N_1} h_1 \sum_{i_2=1}^{N_2-1} h_2 \sum_{i_3=1}^{N_3-1} h_3 (w_x(i_1, i_2, i_3))^2 + \\ &+ \sum_{i_1=1}^{N_1-1} h_1 \sum_{i_2=1}^{N_2} h_2 \sum_{i_3=1}^{N_3-1} h_3 (w_y(i_1, i_2, i_3))^2 + \sum_{i_1=1}^{N_1-1} h_1 \sum_{i_2=1}^{N_2-1} h_2 \sum_{i_3=1}^{N_3} h_3 (w_z(i_1, i_2, i_3))^2. \end{aligned}$$

Отсюда следует безусловная устойчивость сходимости схемы со скоростью $O(\tau + |h|^2)$ при $\sigma \neq \frac{1}{2}$ и $O(\tau^2 + |h|^2)$ при $\sigma = \frac{1}{2}$.

Проведем также исследования на условие асимптотической устойчивости. Используя выписанные выражения для δ_0 и Δ_0 , получаем условия асимптотической устойчивости

$$\tau \leq \tau_0^{(1)}, \quad \tau_0^{(1)} = \frac{2}{4/h_1^2 + 4/h_2^2 + 4/h_3^2}$$

для явной схемы ($\delta = 0$) и

$$\tau \leq \tau_0^{(2)}, \quad \tau_0^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{\delta_0 \Delta_0}} \quad \text{— для симметричной схемы } U_t.$$

В частности, при ($\alpha_0 = 1$) и $l_1 = l_2 = l_3 = l$ имеем:

$$\delta_0 = \frac{8}{h^2} \sin^2 \frac{\pi h}{2l}, \quad \Delta_0 = \frac{8}{h^2} \cos^2 \frac{\pi h}{2l}, \quad \tau_0^{(1)} = \frac{h^2}{8}, \quad \tau_0^{(2)} = \frac{hl}{4\pi}.$$

Алгоритм реализован в среде Turbo Pascal (см. приложение).

Выводы о применимости метода. Результаты тестовых расчетов на ЭВМ показали, что предложенная вычислительная схема не является устойчивой при произвольном задании параметров, начальных и граничных условий. В то же время получены ожидаемые результаты при краткосрочном прогнозировании, т.е. при небольшом времени NTIME. Более высокую точность результатов можно получить, уменьшая шаг сетки и, соответственно, времени. Но при этом неопозволительно быстро растут затраты как оперативной памяти, так и машинного времени.

Отчасти повышение точности достигается обычным приемом имитационного моделирования: модель просчитывается несколько раз, а результат принимается как среднее значение. В этом случае затраты машинного времени увеличиваются не столь значительно.

Долгосрочный прогноз состояния экологической среды на основе модели распределенного лага с автокоррелированными ошибками. Главным источником данных для предсказания экологической обстановки служат временные ряды, которые могут относиться, вообще говоря, к различным временным интервалам. Чтобы такие ряды использовать эффективно, необходимо применить динамические спецификации как для детерминированной, так и для стохастической частей модели. Обычно считают, что модель полностью определена, если задана совместная функция плотности вероятности для ее зависимых переменных. Модели, имеющие динамическую спецификацию в детерминированной части, называются в литературе моделями с распределенным лагом, а модели с динамической спецификацией стохастической части — моделями с автокоррелированными возмущениями.

В регрессионном анализе используется достаточно грубый подход, основанный на подборе кривых. Мы будем рассматривать вероятностную схему, предполагающую, что временная последовательность наблюдений зависимой переменной y характеризуется совместным вероятностным распределением, зависящим от конечного числа неизвестных параметров. Общая линейная модель записывается следующим образом [190-194]:

$$y_t = \sum_{i=1}^k b_i x_{t,i} + U_t, \quad \text{при } t = \overline{1, n} \quad (6.29)$$

где y_t — зависимая переменная в момент времени t ; $x_{t,i}, i = \overline{1, k}$ — объясняющие переменные; U_t — возмущение в момент времени t . В матричных обозначениях

$$y = xb + u. \quad (6.30)$$

Для завершения определения линейной модели (6.30) зададим спецификацию вероятностного распределения возмущений и объясняющих переменных в следующих предположениях :

а) о нулевом среднем значении :

$$E(U) = 0;$$

б) о гомоскедактичности и об отсутствии корреляции:

$$E(UU') = \sigma^2 I_n;$$

в) об отсутствии одновременности :

$$E(x'U) = 0;$$

г) о нормальности:

$$L(U_t) = N(0, \sigma^2).$$

Логарифмическая функция правдоподобия для неизвестных параметров b и σ^2 имеет вид :

$$l(\cdot | b, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} (y - xb)' (y - xb). \quad (6.31)$$

Концентрированная логарифмическая функция правдоподобия, выраженная только через b , будет:

$$l(\cdot | b) = -\frac{n}{2} (1 + \ln 2\pi) - \frac{n}{2} \ln \left\{ \frac{(y - xb)' (y - xb)}{n} \right\}. \quad (6.32)$$

Максимум этой функции достигается при оценке \hat{b} :

$$\hat{b} = (x'x)^{-1} x'y \quad (6.33)$$

или

$$\hat{b} = b + (x'x)^{-1} x'U. \quad (6.34)$$

С учетом предположений б) и в) получаем ковариационную матрицу для оценки b :

$$\text{cov}(\hat{b}) = \sigma^2 (x'x)^{-1}.$$

В случае автокоррелированной ошибки предположение б) заменяется на следующее:

$$E(UU') = \sigma^2 v.$$

Будем предполагать, что поведение U_t описывается стационарным авторегрессионным процессом m -го порядка, т.е.

$$\sum_{i=0}^m \alpha_i U_{t-i} = v_t \quad (\alpha_0 = 1) \quad (6.35)$$

или в матричном виде:

$$QU = v, \quad (6.36)$$

здесь U — вектор возмущений, а v — вектор случайных переменных. Чтобы полностью задать совместную функцию плотности для вектора U , необходимо сделать некоторые предположения о m первых (начальных) значениях U .

Будем рассматривать авторегрессионный процесс, начинающийся в некоторый момент времени после начала наблюдений, скажем, в момент $t=q$. Этот класс процессов интересен потому, что автокоррелированность возмущения возникает в результате некоторого потрясения в период наблюдения: например, аварийный выброс загрязнителя в окружающую среду.

Динамические регрессионные модели в ЭЭС. Динамическая спецификация для стохастической части АР общего порядка. Предполагаем авторегрессионный процесс (6.35) стационарным и начавшимся давно. Условие стационарности соблюдается, если все корни уравнения [190]:

$$\sum_{i=0}^m \alpha_i z^{m-i} = 0 \quad (\alpha_0 = 1)$$

лежат внутри единичного круга. При выполнении условия стационарности решение разностного уравнения (6.35) запишется в виде

$$U_t = \sum_{i=0}^{\infty} \gamma_i v_{t-i}, \quad (6.37)$$

где γ_i — функции от авторегрессионных параметров.

Пусть $G(U_1, \dots, U_m)$ и $H(v_{m+1}, \dots, v_m)$ — функции плотности вероятностей и U_1, \dots, U_m и v_{m+1}, \dots, v_m взаимно независимы. Тогда

$$G(U_1, \dots, U_m) = h(U_1, \dots, U_m) f(v_{m+1}, \dots, v_n), \quad (6.38)$$

где

$$f(v_{m+1}, \dots, v_n) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{(n-m)}{2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} U' Q'_{ns} Q_{ns} U\right] \quad (6.39)$$

и матрица

$$Q = \begin{vmatrix} \alpha_m & \alpha_{m-1} & \dots & \alpha_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_m & \dots & \alpha_2 & \alpha_1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \alpha_m & \alpha_{m-1} & \dots & 1 \end{vmatrix}. \quad (6.40)$$

Так как величины v_t распределены как независимые нормальные случайные переменные, из (6.37) получаем, что (U_1, U_2, \dots, U_m) имеют нормальную многомерную функцию плотности с нулевым средним и ковариационной матрицей $\sigma^2 D$. Таким образом:

$$h(U_1, \dots, U_m) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{m}{2}} |D|^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} U'SU\right], \quad (6.41)$$

где

$$S = \begin{vmatrix} D_{(m \times m)}^{-1} \cdot O_{m(n-m)} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ O_{(n-m)m} \cdot O_{(n-m)(n-m)} \end{vmatrix}.$$

Из (6.38), (6.39) и (6.41) получаем:

$$G(U_1, \dots, U_m) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{n}{2}} |D|^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} U'(S + Q'_{ns} Q_{ns})U\right]. \quad (6.42)$$

Обозначая ковариационную матрицу для (U_1, \dots, U_m) через $\sigma^2 V$, имеем:

$$V^{-1} = S + Q'_{ns} Q_{ns}. \quad (6.43)$$

Условные точечные прогнозы и регрессионные модели с автокоррелированными возмущениями. Рассмотрим прогнозирование P значений зависимой переменной при заданных матрицах y, x и x_0 , где x_0 — матрица наблюдений объясняющих переменных за прогнозируемый период размерностью $p \times k$. Обе модели, оценочная и прогнозируемая, представлены формулами (6.30) и (6.36) или:

$$\begin{bmatrix} y \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ x_0 \end{bmatrix} b + \begin{bmatrix} u \\ u_0 \end{bmatrix},$$

так что $\tilde{y} = \tilde{x}b + \tilde{u}$, причем $\tilde{Q}\tilde{u} = \tilde{v}$.

Разобьем матрицу \tilde{Q} на блоки и запишем:

$$\begin{bmatrix} Q \cdot O \\ \cdot \\ \cdot \\ H \cdot Q_0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U \\ \cdot \\ \cdot \\ U_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \\ \cdot \\ \cdot \\ v_0 \end{bmatrix},$$

так как \tilde{Q}_0 — невырожденная, то

$$\begin{bmatrix} U \\ \cdot \\ U_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q^{-1} & O \\ \cdot \\ -Q_0^{-1} H Q^{-1} & Q_0^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \cdot \\ v_0 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, $U = Q^{-1}v$ и

$$U_0 = Q_0^{-1}v_0 - Q_0^{-1}HQ^{-1}v. \quad (6.44)$$

При этом размерность матрицы Q_0 равна $p \times p$, а матрицы $H - p \times n$.

Тогда:

$$y_0 = x_0b + Q_0^{-1}v_0 - Q_0^{-1}Hu. \quad (6.45)$$

Условный прогноз y_0 по известным b и α определяется как условное матожидание $E(y_0/x_0, x, y)$ или по (6.45):

$$E(y_0/x_0, x, y) = x_0b - Q_0^{-1}H(y - xb). \quad (6.46)$$

И тогда состоятельный эффективный прогноз y_0 будет:

$$\hat{y}_0 = x_0\hat{b} - \hat{Q}_0^{-1}\hat{H}(y - x\hat{b}). \quad (6.47)$$

При известных α можно вывести точное выражение для p -мерной области, которой принадлежат прогнозируемые значения.

Пусть $\sigma^2\Omega$ — ковариационная матрица ошибок прогноза размером $p \times p$, тогда величина $\frac{(y_0 - \hat{y}_0)' \Omega^{-1} (y_0 - \hat{y}_0)}{\sigma^2}$ имеет χ_p^2 — распределение, а величина

$$\frac{(u - k)\hat{\sigma}^2}{\sigma^2} = \frac{\hat{u}Q'Qu'}{\sigma^2}$$

распределена как χ_{u-k}^2 . То есть отношение

$$F_{p, u-k} = \frac{(y_0 - \hat{y}_0)' \Omega^{-1} (y_0 - \hat{y}_0)}{p\hat{\sigma}^2}$$

имеет распределение $F_{p, u-k}$ — Фишера с p и $u-k$ степенями свободы. Для определения Ω из (6.46) имеем:

$$\hat{y}_0 = x_0\hat{b} + \hat{Q}_0^{-1}Hx(\hat{b} - b) - Q_0^{-1}Hu.$$

Вычитая это выражение из (6.45), получим:

$$y_0 - \hat{y}_0 = -(x_0 + Q_0^{-1}Hx)(\hat{b} - b) + Q_0^{-1}v_0$$

и, следовательно,

$$\Omega = (Q_0'Q_0)^{-1} + (x_0 + Q_0^{-1}Hx)(x'Q'Qx)^{-1}(x_0 + Q_0^{-1}Hx)'. \quad (6.48)$$

Модели распределенных лагов с автокоррелированными ошибками. В рассмотренных моделях на детерминированную часть налагалось требование, чтобы они были линейными по конечному числу неизвестных параметров и не включали в качестве регрессоров запаздывающие зависимые переменные. Естественно, эти ограничения во многих случаях не позволяют решать задачу прогноза экологического состояния среды. Поэтому рассмотрим две альтернативные, но связанные формы динамической спецификации для детерминированной части, включающие спецификации распределенного лага, при которых форма лага априорно ограничена, а также включающие регрессионные модели, содержащие запаздывающие зависимые переменные. Будем рассматривать регрессионную модель, в которой одна из объясняющих переменных включается с помощью

бесконечно убывающего геометрического лага ввиду простоты исследования, хотя результаты применимы к более сложным случаям структуры лага при естественных ограничениях. Такая модель может быть записана в виде:

$$y_t = \sum_{i=1}^{k-1} b_i x_{ti} + b_k \sum_{i=0}^{\infty} \lambda^i x_{t-i,k} + U_t \quad (6.49)$$

где $0 \leq \lambda < 1$ — параметр распределенного лага.

Для получения авторегрессионного представления (6.49) воспользуемся лаговым оператором сдвига B . Тогда (6.49) переписывается

$$y_t = \sum_{i=1}^{k-1} b_i x_{ti} + b_k \sum_{i=0}^{\infty} (\lambda B)^i x_{t,k} + U_t$$

где $B^j x_t = x_{t-j}$.

Поскольку

$$\sum_{i=0}^{\infty} (\lambda B)^i = (1 - \lambda B)^{-1} \text{ при } 0 \leq \lambda < 1,$$

то регрессионная модель может быть записана следующим образом:

$$y_t = \sum_{i=1}^{k-1} b_i x_{ti} + \frac{b_k}{1 - \lambda B} x_{tk} + U_t \quad (6.50)$$

Авторегрессионное представление (6.49) получается умножением на $(1 - \lambda B)$ обеих частей (6.50) и использованием определения оператора B , что дает:

$$y_t = \lambda y_{t-1} + \sum_{i=1}^{k-1} b_i (x_{ti} - \lambda x_{t-i,i}) + b_k x_{tk} + W_t \quad (6.51)$$

где $W_t = U_t - \lambda U_{t-1}$, для $t = \overline{2, n}$. Получим точные оценки максимального правдоподобия для неизвестных параметров, для чего запишем (6.50) в виде:

$$y_t = \sum_{i=1}^{k-1} b_i x_{ti} + b_k z_t(\lambda) + U_t, \quad t = \overline{1, n} \quad (6.52)$$

где $z_t(\lambda) = \sum_{i=0}^{\infty} \lambda^i x_{t-i,k} = \left(\frac{1}{1 - \lambda B} \right) x_{tk}$,

или в рекуррентной форме:

$$z_t(\lambda) = \lambda z_{t-1}(\lambda) + x_{tk} \quad (6.53)$$

Начальное значение $z_0(\lambda)$ можно полностью задать в виде:

$$z_0(\lambda) = \frac{1}{1 - \lambda B} x_{0,k}$$

или

$$z_0(\lambda) = x_{0,k} + \lambda x_{-1,k} + \lambda^2 x_{-2,k} + \dots \quad (6.54)$$

Оценивание $z_0(\lambda)$ при любом значении λ требует предсказания предыстории $x_{t,k}$. Большинство экологических временных рядов приблизительно следуют авторегрессии первого или более высоких порядков. Из-за высокой степени мультиколлинеарности запаздывающих значений переменных, описывающих

погодные условия, выделения в атмосферу загрязнителя и других. Модель не может быть удовлетворительно оценена, если на ее параметры не налагается никаких ограничений.

Воспользуемся информацией, связанной с процессом $x_{t,k}$, для полученных приемлемых выражений начального значения $z_0(\lambda)$ в терминах параметра λ и наблюдаемых значений.

Например, если

$$x_{t,k} = \rho_1 + \rho_2 x_{t-1,k} + v_t,$$

можно рассматривать как удовлетворительную схему для $x_{t,k}$, то легко видеть, что экстраполированными значениями предыстории $x_{t,k}$ будут следующие:

$$x_{-s,k} = x_{1,k} r_2^{-s-1} + \frac{r_1}{1-r_2} (1-r_2^{-s-1}), s = 0, 1, \dots, \quad (6.55)$$

где r_1 и r_2 — оценки параметров ρ_1 и ρ_2 , которые могут быть получены при условии относительной стабильности схемы во времени.

Если $|\lambda| < |r_2|$, то, подставив (6.55) в (6.54), получим:

$$z_0(\lambda) = \frac{1}{r_2 - \lambda} \left(x_{1,k} - \frac{r_1}{1 - \lambda} \right). \quad (6.56)$$

В случае авторегрессии не первого, а второго порядка, имеем:

$$z_0(\lambda) = \frac{1}{r_3 + r_2 \lambda - \lambda^2} \left[(\lambda - r_2) x_{1,k} + x_{2,k} - \frac{r_1}{1 - \lambda} \right],$$

а для авторегрессии третьего порядка:

$$z_0(\lambda) = \frac{1}{r_4 + r_3 \lambda + r_2 \lambda^2 - \lambda^3} \left[(\lambda^2 - r_2 \lambda - r_3) x_{1,k} - (r_2 - \lambda) x_{2,k} - x_{3,k} - \frac{r_1}{1 - \lambda} \right].$$

Соотношение (6.52) в матричном виде можно записать для любого вида начального значения $z_0(\lambda)$:

$$y = W(\lambda)b + U, \quad (6.57)$$

где $W(\lambda)$ - матрица наблюдений размером $n \times k$, причем k -ый столбец зависит от параметра распределенного лага λ ,

$$W(\lambda) = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1,k-1} & z_1(\lambda) \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2,k-1} & z_2(\lambda) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{n,k-1} & z_n(\lambda) \end{pmatrix}. \quad (6.58)$$

Если $\sigma^2 R^{-1}$ - ковариационная матрица вектора возмущений U , тогда логарифмическая функция правдоподобия при авторегрессии m -го порядка с вектором параметров α будет:

$$L(b, \lambda, \alpha, \sigma^2 | \cdot) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi\sigma^2) + \frac{1}{2} \ln|R| - \frac{1}{2\sigma^2} (y - W(\lambda)b)' R (y - W(\lambda)b), \quad (6.59)$$

Точный вид матрицы R , когда U_t соответствует авторегрессионному процессу первого порядка с параметром α_1 , будет:

$$R = \begin{vmatrix} 1 & \alpha_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \alpha_1 & 1 + \alpha_1^2 & \alpha_1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \alpha_1 & 1 + \alpha_1^2 & \alpha_1 \\ 0 & \dots & 0 & \alpha_1 & 1 & \dots \end{vmatrix}. \quad (6.60)$$

Рассмотрим теперь регрессионную модель с зависимыми запаздывающими переменными. Любое удовлетворительное оценивание динамической модели при малых выборках требует некоторых знаний о том, как порождается динамический процесс.

Предполагаем, что стационарный процесс, определяющий зависимую переменную, начинается задолго до первого наблюдаемого значения. В случае одной запаздывающей переменной

$$y_t = \varphi y_{t-1} + \eta_t + U_t \quad \text{для} \quad |\varphi| < 1, \quad (6.61)$$

где $\eta_t = \sum_{i=1}^k b_i x_{ti}$.

Для оценивания максимального правдоподобия в случае коррелированного во времени возмущения рассмотрим следующие выражения:

$$y_1 = \varphi \sum_{s=0}^{\infty} \varphi^s \eta_{-s} + \eta_1 + U_1^* \quad \text{и} \quad y_t = \varphi y_{t-1} + \eta_t + U_t \quad \text{при} \quad t = \overline{2, n}, \quad \text{где} \quad U_1^* = \sum_{s=0}^{\infty} \varphi^s U_{1-s}.$$

Получаем логарифмическую функцию правдоподобия:

$$L(\varphi, b, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi\sigma^2) + \frac{1}{2} \ln(1 - \varphi^2) - \frac{1}{2\sigma^2} (y - \varphi Y - xb)' R(\varphi) (y - \varphi Y - xb),$$

где

$$Y' = \left(\sum_{i=1}^k b_i \left(\sum_{s=0}^{\infty} \varphi^s x_{-s,i} \right), y_1, \dots, y_{n-1} \right), \quad (6.62)$$

$$R(\varphi) = \begin{vmatrix} 1-\varphi^2 & 0 & & \\ 0 & 1 & 0 & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & 1 & 0 \\ & & & & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Оценивание параметров (6.61) в случае, когда U_t порождается авторегрессионной схемой первого порядка, т.е. $U_t = \rho U_{t-1} + v_t$, проведем, рассматривая преобразование вектора $(U_1^*, U_2, v_3, \dots, v_n)$ в вектор (y_1, y_2, \dots, y_n) :

$$y_1 = \varphi \sum_{s=0}^{\infty} \varphi^s \eta_{-s} + \eta_1 + U_1^*, y_2 = \varphi y_1 + \eta_2 + U_2,$$

$$y_t = (\beta + \varphi)y_{t-1} - \beta\varphi y_{t-2} + (\eta_t - \beta\eta_{t-1}) + v_t, t = \overline{3,4}.$$

$$\text{Здесь } U_1^* = \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{\rho^{i+1} - \varphi^{i+1}}{\rho - \varphi} \right) v_{1-i}, U_2^* = \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i v_{2-i}.$$

Логарифмическая функция правдоподобия принимает вид:

$$L(b, \varphi, \rho, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi\sigma^2) + \ln|\Omega|^{-\frac{1}{2}} - \frac{1}{2\sigma^2} \left(z' \Omega^{-1} z + \sum_{t=3}^n v_{t^2} \right), \quad (6.63)$$

где

$$\Omega = \begin{vmatrix} \frac{1+\varphi\rho}{(1-\varphi\rho)(1-\rho^2)(1-\varphi^2)} & \frac{\rho}{(1-\rho^2)(1-\varphi\rho)} \\ \frac{\rho}{(1-\rho^2)(1-\varphi\rho)} & \frac{\rho}{1-\rho^2} \end{vmatrix},$$

$$z' \Omega^{-1} z = (1-\varphi\rho)^2 (1-\varphi^2) U_1^{*2} - 2\rho(1-\varphi\rho)(1-\varphi^2) U_1^* U_2 + (1-\varphi^2 \rho^2) U_2^2.$$

Окончательно получаем:

$$L(b, \varphi, \rho, \sigma^2) = -\frac{1}{2} \ln(2\pi\sigma^2) + \ln(1-\varphi\rho) + \frac{1}{2} \ln \left[(1-\varphi^2) \times \right. \\ \left. \times (1-\rho^2) \right] - \frac{1}{2\sigma^2} (y - \varphi y - xb)' R(\varphi, \rho) (y - \varphi y - xb), \quad (6.64)$$

где

$$R(\varphi, \rho) = \begin{vmatrix} (1-\varphi\rho)^2(1-\varphi^2) - \rho(1-\varphi\rho)(1-\varphi^2) & 0 & \dots & 0 \\ -\rho(1-\varphi\rho)(1-\varphi^2) & 1-\rho^2\varphi^2 + \rho^2 - \rho & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\rho & 1+\rho^2 - \rho & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & -\rho & 1+\rho^2 - \rho & \\ 0 & \dots & 0 & -\rho & 1 \end{vmatrix}. \quad (6.65)$$

Выбор конкретной модели для долгосрочного экологического прогноза. Дифференциальное уравнение распространения загрязнителя (6.11) при решении численными методами неизбежно приводит к разностной схеме [191]. Как уже указывалось ранее, решение такой схемы с приемлемой точностью практически невозможно из-за "проклятия размерности" в сколь-нибудь значительной по размерам области. К тому же очень трудно определить входящие в эту схему параметры α , D и другие. Однако известны статистические наблюдения концентрации загрязнителя в некоторых реперных точках области, которые мы можем рассматривать как зависимые переменные, есть статистика погодных наблюдений, а также возможности прогноза погодных характеристик, "производства" и выбросов загрязнителя. Эти данные можно рассматривать как независимые переменные. Поэтому уместно рассмотреть в качестве регрессоров также запаздывающие зависимые переменные, что даже формально приближает нашу модель к разностной схеме для дифференциального уравнения. Независимые переменные, очевидно (по крайней мере часть из них), имеют стохастический характер.

Исходя из этих предпосылок останавливаемся на модели распределенного лага с автокорректированными ошибками. Это позволяет нам рассмотреть модель с динамической спецификацией как в детерминированной, так и стохастической частях. Модель также предполагает некоторое разрешение проблемы "усеченного остатка", т.е. ненаблюдаемых предыдущих значений в условиях малой выборки (см. п. 6.4.4).

Программа реализации метода предназначена для оценивания параметров одного регрессионного уравнения в предположении, что один из регрессоров имеет структуру убывающего геометрического шага. Ошибка описывается стационарным авторегрессионным случайным процессом первого порядка. Проблема усеченных остатков решается экстраполяцией пропущенных данных назад.

Как видно из приведенного выше описания, программная реализация предложенного метода позволяет учесть большое число независимых переменных. Возможно также рассматривать смещение (сдвиг) переменных во времени, что дает имитацию производных как независимых, так и зависимой переменных. Применение метода требует статистической информации о состоянии загрязнения атмосферы, погодных условиях и прогноза состояния погоды на прогнозируемый период.

Очевидно, что программа достаточно универсальна и может быть использована для решения эконометрических, социологических и других задач для составления прогноза в условиях статистической неопределенности с инерцией по зависимой переменной. Широкий спектр используемых статистик позволяет оценить надежность полученных результатов с разных точек зрения.

Описание соответствующих программных пакетов по данному разделу, некоторые результаты расчетов и точностные характеристики приведены в главе 8 и приложении.

Проведено исследование проблемы охраны атмосферного воздуха в СЭМ и поставлена задача компьютерного моделирования и прогнозирования атмосферных процессов в зоне ОФ в условиях стохастической неопределенности, которые описываются случайными динамическими моделями. Разработано программное

обеспечения для моделирования и прогнозирования на основе рассмотрения экологической среды как управляемого марковского процесса. Проведено обоснование применимости данного подхода. Разработан программный пакет для долгосрочного прогноза состояния экологической среды на основе модели распределенного лага с автокоррелированными ошибками. Данная модель учитывает динамику как в детерминированной составляющей, так и в ее стохастической части. Использование этого метода позволяет, в отличие от метода имитационного моделирования, учесть динамическую спецификацию и изменения в детерминированной части.

Выводы по разделу 6

1. Рассмотрена современная парадигма и проблема моделирования и мониторинга ОПС (на примере атмосферы).

2. Проведено исследование проблемы охраны атмосферного воздуха (как пример) для СЭЭМ и поставлена задача моделирования и прогнозирования атмосферных процессов в зоне ОФ в условиях стохастической неопределенности, которые описываются случайными динамическими моделями.

3. Разработано программное обеспечение для компьютерного моделирования и прогнозирования на основе рассмотрения экологической среды как управляемого марковского процесса. Проведено обоснование применимости данного подхода.

4. Разработан программный пакет для долгосрочного прогноза состояния экологической среды на основе модели распределенного лага с автокоррелированными ошибками. Данная модель учитывает динамику как в детерминированной составляющей, так и в ее стохастической части. Использование этого метода позволяет, в отличие от метода имитационного моделирования, учесть динамическую спецификацию и изменения в детерминированной части.

РАЗДЕЛ 7

МОДЕЛИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПС

Введение. Необходимость повышения экологической безопасности требует нового подхода к построению систем управления и критериям их функционирования [7, 10, 63, 131, 201].

Под управлением в широком смысле подразумевается принятие технико-экономических решений по созданию и размещению на территории регионов принципиально новых технологий и производств с учетом экологических и других ограничений, совершенствование существующих техники и технологии, а также грамотное использование имеющихся ресурсов и технологий производства.

Первые два аспекта управления можно отнести к стратегическим, поскольку упомянутые проблемы должны решаться в общегосударственном масштабе, а последний во многом зависит от искусства оперативного управления в масштабе отрасли и предприятия.

Поэтому рассмотрим проблему управления и принятия решений для углеобогащательной фабрики с учетом требований по защите окружающей среды от загрязнения в результате ее производственной деятельности.

Функционирование углеобогащательных фабрик связано с использованием природных ресурсов (уголь, вода, воздух, земельные площади и др.) и вредным влиянием на окружающую среду (выбросы в атмосферу, сточные воды, складирование отходов). Причем уровень загрязнения окружающей среды в значительной мере зависит от качества товарных продуктов (химический состав золы, наличие в угле серы, фосфора и других элементов), отходов обогащения, поскольку последние занимают земельные площади и могут стать источниками загрязнения атмосферы пылью и газами от сгорания низкосольной составляющей отходов.

Концептуальная модель фабрики может быть представлена в виде следующего кортежа:

$$\Phi_M = \langle M, T, E, I, n, C \rangle, \quad (7.1)$$

где $M = (M_1, M_2, \dots, M_n)$ — множество сырья, ресурсов и материалов, используемых для получения готовой товарной продукции; $T = (T_1, T_2, \dots, T_m)$ — множество элементов технологического оборудования и технологической инфраструктуры; $E = (E_1, E_2, \dots, E_k)$ — множество физико-технологических эффектов (реагенты, флокулянты и пр.), используемых для обогащательных процессов; $I = (I_1, I_2, \dots, I_q)$ — множество информационных компонентов, каждый его элемент принадлежит одному из множеств: Д — данные, Р — процедуры, К — знания; $n = (n_1, n_2, \dots, n_l)$ — множество товарной продукции фабрики; $C = (C_1, C_2, \dots, C_p)$ — множество загрязняющих веществ, выбрасываемых фабрикой в окружающую среду.

Таким образом, для получения готовой продукции Π с заданными характеристиками необходимо иметь желательную оптимальную модель фабрики:

$$\hat{\Phi}_M = \langle M^*, T^*, E^*, I^*, \hat{n}, C^* \rangle.$$

Обобщенную структурную модель фабрики как сложной системы удобно представить тремя уровнями (см. рис. 3.1). Нулевой уровень представлен технологическими процессами Tn_1, Tn_2, \dots, Tn_n , управляемыми соответствующими операторами O_1, O_2, \dots, O_n . В качестве входного потока $R_{вх}$ здесь обозначен вектор параметров сырьевой базы, а также требования рынка сбыта. Кроме того, на входе фабрики имеет место вектор E . Выходными потоками $R_{вых}$ является вектор параметров продуктов обогащения.

Первый уровень структуры фабрики образует системы оперативно-диспетчерского управления (СОДУ), второй — система организационно-экономического и экологического управления (СОЭ и ЭУ) с подсистемами n_1, n_2, \dots, n_k , а третий уровень — АСУ ТП.

На рис. 7.1 приведена общая структура связей фабрики как технической системы в совокупности с управленческими, экономическими, техническими и технологическими службами, где выделены информационные и материальные связи с внешней средой. К первым относятся: информация о состоянии рынка сбыта продукции (x_1); управляющая информация от системы высшего уровня иерархий (x_2); информация о составлении общей региональной сырьевой базы рядовых углей (x_3); информация о фактической сырьевой базе на рассматриваемый период времени (месяц, квартал, год) (x_4); о состоянии техники и технологии на фабрике и предполагаемой (желаемой) сырьевой базе на текущий момент времени (x_5).

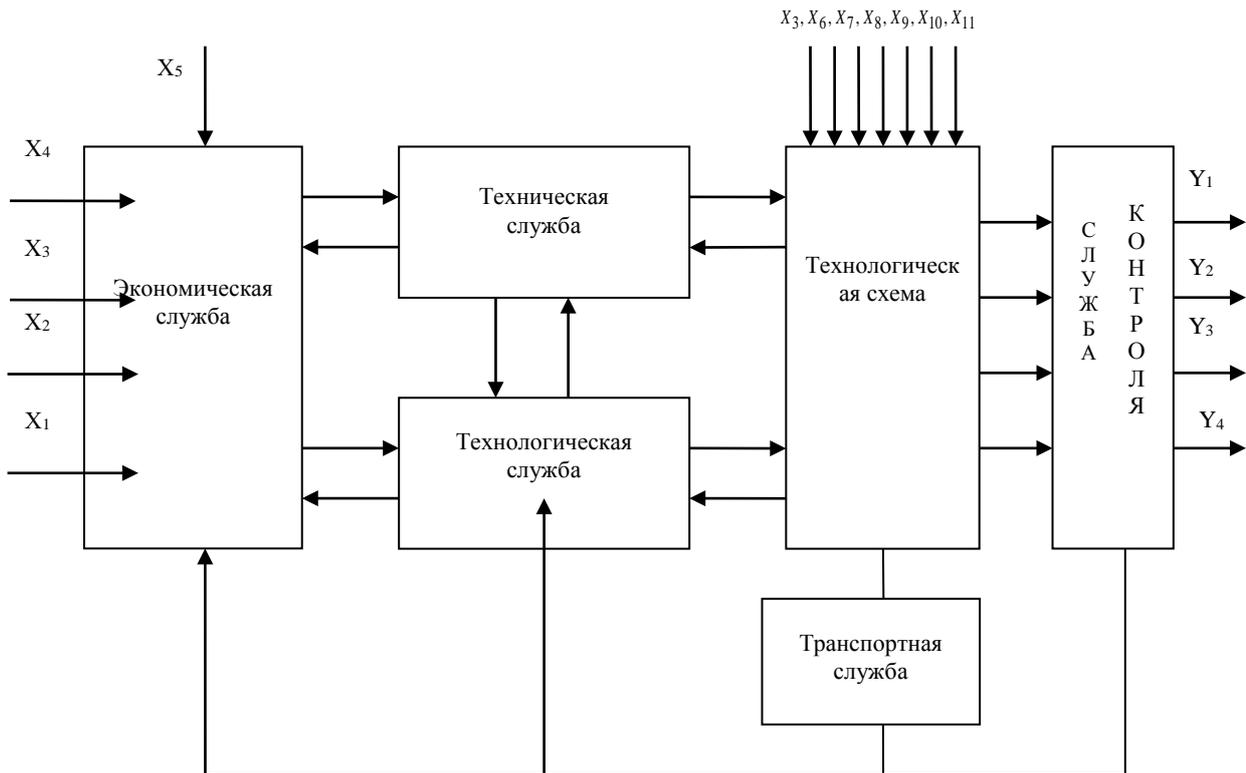


Рис. 7.1. Структурная схема ОФ как ПЭС с внешними связями.

К материальным входным и выходным потокам относятся: поступающий на фабрику рядовой уголь (поставщик, объём поставки, качество) (x_3) — эти показатели составляют вектор случайного входа ОФ с известными вероятностными характеристиками; объём расходуемого воздуха для обогащения и обработки продуктов (x_6); расход чистой воды из природных источников (x_7), являющейся случайной величиной, среднее значение которой определяется принятой схемой обогащения и состоянием техники; расход топлива и электроэнергии для обеспечения работы технологических схем ОФ, а также сушки продуктов и отопления (x_8); расход магнетита для тяжелосреднего обогащения (x_9); если тяжелосредние процессы в схеме отсутствуют, то x_9 также отсутствует; расход реагентов для флотационного отделения, обогащающего тонкие классы угля (< 0.5 мм), и для сгущения шламов (флокуляции отходов) (x_{10}); поступление вагонов и наличие автотранспорта для отгрузки товарных продуктов и отходов являются случайными величинами и их отсутствие может при определенных условиях привести к запрету на работу ОФ (x_{11}); выпуск товарных продуктов (y_1) и отходов обогащения (y_2), которые определяются количественными и качественными показателями и являются случайными с известными распределениями при заданных параметрах процессов переработки; выбросы в атмосферу (y_3) в основном определяются уносом твердых частиц и вредных соединений из сушильного отделения, интенсивность которых зависит от нагрузки на сушильное отделение и технологии управления им; выпуск шламовых вод (y_4), который определяется

расходом и содержанием твердого в них — этот поток определяется водно-шламовой схемой и технологическими режимами, направляется во внешние отстойники и является важным, в экологическом смысле, параметром; сточные воды от дождя и таяния снега (y_6).

Таким образом, фабрика является существенным источником загрязнения окружающей среды в виде пылегазовых выбросов в атмосферу (угольная и породная пыль, двуоксиды серы и азота, оксид углерода, сероводород и др.), сточных вод, содержащих взвешенные твердые минеральные частицы, нефтепродукты, растворенные соли и др., и отходов обогащения, занимающих земельные площади, с содержанием горючих компонентов, флотореагентов и др. вредных веществ. Поэтому, при управлении фабрикой необходимо учитывать ограничения как по экономическим, так и экологическим факторам.

7.1. Моделирование технологических схем и процессов

Анализ и постановка задач моделирования и расчета. Современная углеобогатительная фабрика является большой сложной технической системой. Такая оценка ОФ как системы определяется как большим количеством элементов в системе, так и наличием большого числа связей между элементами и внешних связей со средой. Усложняется ситуация из-за стохастической природы основных элементов системы:

- количественных и качественных показателей поступающего сырья;
- самих процессов переработки угольной массы и вспомогательных процессов, обеспечивающих основные процессы обогащения разделительной средой;
- процессов поступления и отгрузки рядового угля, продуктов обогащения и отходов.

Основное техническое назначение обогащения угля заключается в разделении р/у на полезную и балластную части для повышения эффективности их использования. При этом на современном этапе развития технологии и техники обогащения должно быть обеспечено максимальное извлечение горючих компонентов в товарные продукты.

Полнота извлечения полезной части обогащаемых углей в товарные продукты и наиболее экономичный ассортимент последних могут быть достигнуты при наиболее полном соответствии применяемых в них технологических схем и используемых в них процессов и оборудования характеристикам обогащаемых углей и требованиям к качеству и ассортименту товарных продуктов.

В качестве технологической схемы принимаем сочетание технологических операций и их аппаратное обеспечение, а также принятую последовательность и связи между принятыми в ней элементами.

Вместе с технической целью функционирования ОФ, связанной с извлечением горючей массы из р/у, необходимо учитывать и тот факт, что функционирование ОФ связано с прямым использованием природных ресурсов (вода, воздух, земельные площади) и косвенным влиянием на окружающую среду, связанным с качественными показателями товарной продукции (зольность, содержание серы).

Последние показатели становятся актуальными при использовании продуктов по их назначению и связаны они с выделением в атмосферу оксида серы, углерода и других вредных соединений.

Качественные показатели отходов обогащения становятся актуальными при их складировании в отвалах, которые могут не только занимать земельные ресурсы, но и стать источником загрязнения атмосферы пылью и газами от сгорания низкотемпературной составляющей отходов.

Очевидно, что целостное представление ОФ (рис. 7.1) не дает возможности выполнить полный анализ задач и подзадач, решаемых на ОФ. Для этой цели ОФ как систему S на рис. 7.1 разобьем на подсистемы с учетом всех внутренних связей (рис. 7.2). Здесь сохранены значения всех внешних относительно S входных и выходных влияний, внутри S связи α_i определяют директивную и управляющую информацию, а связи β определяют обратные информационные связи, обеспечивающие принятие решения в подсистемах более высокого уровня иерархии.

Если начать анализ задач, стоящих перед системами разного уровня иерархии, с задачи для управляющей для S системы (т.е. объединения), то эта система на основании знания региональной сырьевой базы, технических и технологических характеристик систем S_i , рынка продуктов обогащения и управляющей информации от вышестоящей системы (министерства) должна разработать управляющую информацию (план) для выпуска продуктов обогащения каждой системой S (ОФ). План содержит количественные и качественные показатели всего ассортимента продукции.

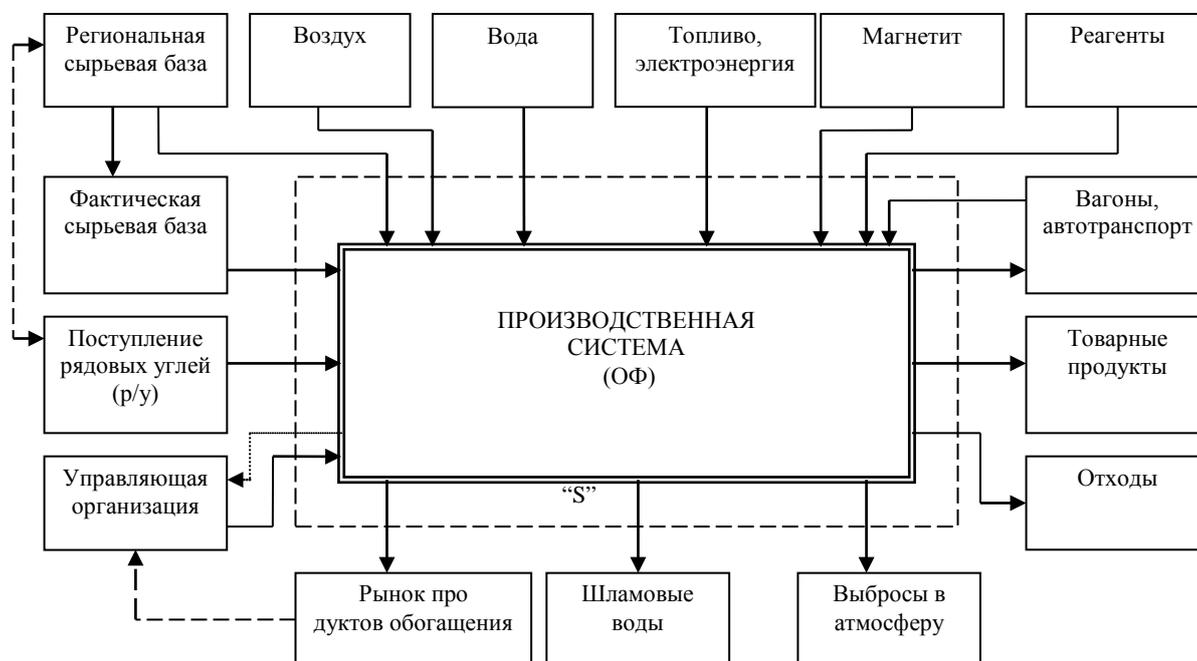


Рис. 7.2. Укрупненная структурная схема функционирования ОФ.

Сейчас план не является по объему полной загрузкой ОФ на рассматриваемый период и предусматривается свобода действий ОФ в пределах технических возможностей технологии.

Поэтому экономической службой ОФ на основании информации о состоянии региональной сырьевой базы (x_5), фактической сырьевой базы (x_4), разработанного и согласованного (y_5) планового задания (x_2) разрабатывается план выпуска продуктов обогащения с учетом состояния рынка сбыта продуктов обогащения (x_1).

Для технической и технологической обоснованности плана используется информация технической (β_1) и технологической (β_2) служб о техническом состоянии и технологической эффективности процессов. Кроме того, для расчета оптимальных параметров технологической схемы, режимов работы оборудования, задания на шихтование углей необходима расчетная модель технологической схемы (ТС) ОФ и методика расчета ожидаемых результатов обогащения, обеспечивающая получение необходимой информации для принятия решения о содержании плана на рассматриваемый период.

Таким образом, первой задачей, решаемой на уровне ОФ, является задача формирования рационального плана с учетом среднестатистических показателей, касающихся сырьевой базы, рынка продуктов обогащения и технологии. Эта задача решается периодически на уровне планового отдела и экономической службы ОФ. Сам процесс принятия решения состоит из последовательного приближения от "желаемой" сырьевой базы из общей региональной сырьевой базы после многократных согласований на вышестоящем уровне к фактической сырьевой базе.

На уровне технической и технологической служб после получения управляющих воздействий — информации о фактической сырьевой базе, плане поставок продуктов обогащения — решаются задачи: формирование плана шихтования углей в бункерах; разработка оптимальных режимов обогащения технологического оборудования в технологической схеме ОФ; разработка направлений совершенствования технологической схемы ОФ для достижения более высоких технико-экономических показателей. При решении задачи расчета оптимальных режимов выходом являются режимные карты для основного технологического оборудования, которые являются управляющим воздействием на подсистему "Технологическая схема ОФ", основными входными и выходными потоками для которой являются материальные потоки.

Следует отметить, что составляющими элементами критерия для принятия того или иного решения являются:

- количественные, качественные, стоимостные характеристики рядового угля и продуктов обогащения;
- стоимостные показатели по энергетическим, материальным затратам по обогащению процессов;
- количественные, качественные и стоимостные показатели по экологическим параметрам ТС обогащения.

Подсистема "Технологическая схема" является также достаточно сложной, и в ее составе можно выделить ряд подсистем, которые выполняют конкретные задачи и в некотором смысле (территориально, структурно, функционально и т.п.) обладают определенной степенью независимости.

Если предположить, что при уже заданном управлении (сырьевая база и план поставок продуктов) структура и связи в подсистеме стабильны, т.е. не

рассматривать систему с переменной структурой, то ее можно представить как на рис.7.3.

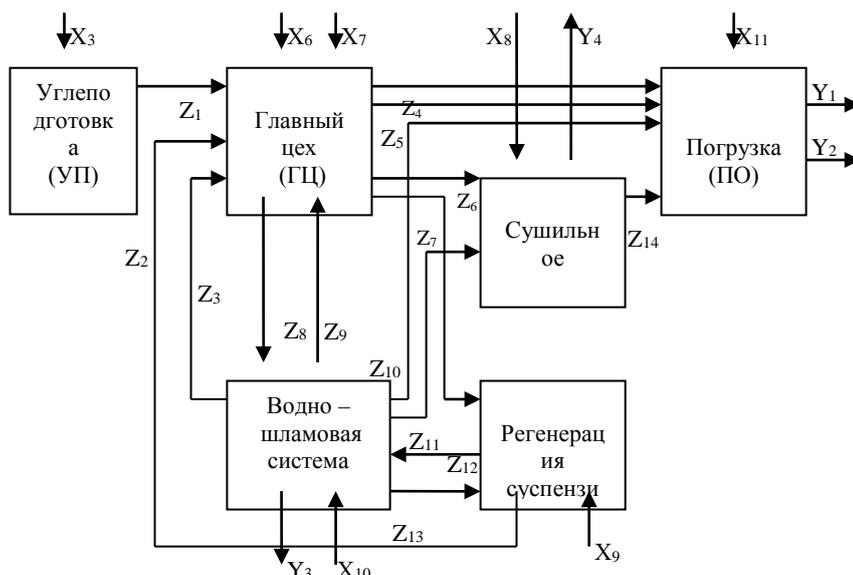


Рис. 7.3. Структура подсистемы «Технологическая схема».

Декомпозиция технологической схемы позволяет выделить следующие основные элементы и потоки:

- угледоготовительное отделение, основная задача которого состоит в предварительной подготовке (классификация, дробление) поступающего р/у (x) и распределении переработанного р/у по бункерам в соответствии с "картой" шихтования р/у разных поставщиков по шахтогруппам. Выходной поток z , являющийся результатом шихтования углей из бункеров или непосредственно результатом переработки x (при работе ОФ "с колес"), реализуется, только если начинает работу главный цех. Это связано прежде всего с тем, что основная работа угледоготовительного отделения (УП) производится на накопление переработанного р/у в бункерах, и тем самым УП является, в некотором смысле, независимой подсистемой;

- главный обогатительный цех является основной подсистемой, в которой производится обогащение угля. Входные и выходные потоки подсистемы представлены в табл. 7.1:

- водно-шламовая система (ВШС) предназначена для обработки угольных и породных шламов и включает улавливание, сгущение и обезвоживание. В ряде схем включаются такие процессы обогащения тонкого шлама крупностью менее 0,5 мм методом флотации и крупнозернистого шлама 0,1 - 3,0 мм в циклонах или шламовых отсадочных машинах. От типа принятой водно-шламовой схемы, эффективности процессов, составляющих ее, и режима ее эксплуатации во многом зависят потери горючей массы с отходами, расход воды. Следовательно, водно-шламовая схема является важной, с точки зрения экологии, подсистемой. Потоки ВШС приведены в табл.7.1;

- схема регенерации суспензии обеспечивает восстановление разделяющей среды как по объему, так и свойствам (плотность, содержание шлама). Характеристики потоков данной подсистемы даны в табл. 7.1.

Сушильное отделение предназначено для удаления влаги у мелких концентратов и доведения их до плановых показателей.

Входными потоками являются мелкие концентраты из главного цеха и ВШС (z_6, z_{11}), энергетический носитель (x_8); выходные потоки это: z_{14} — обезвоженный мелкий концентрат; y_4 — пылевые и газовые выделения в атмосферу. Отделение погрузки предназначено для периодической отгрузки продуктов обогащения и отходов. Входные потоки — это концентраты (y_1) и отходы (y_2). Работа этого отделения возможна, если свободны бункеры в отделении или имеется обеспеченность транспортом для вывоза концентрата и отходов.

Таблица 7.1

Характеристики входных и выходных потоков основных подсистем

Наименование подсистем	Входные потоки	Выходные потоки
Главный обогатит. цех	z_1 - шихта р/у из УП; z_2 - обратная вода для обогащения; z_3 - магнетитовая суспензия заданной плотности из бака суспензии; z_9 - обратная вода для вспомогательных операций	z_4 - концентрат сортов, не требующих сушки; z_5 - отходы главного цеха; z_6 - концентрат мелких сортов, требующих сушки; z_7 - потоки кондиционной и разбавленной суспензии; z_8 - шламовые воды из процессов разделения в водной среде
ВШС	z_8 - шламовые воды из главного цеха; z_{12} - шламы из системы регенерации	z_3, z_9, z_{15} - обратная вода для обеспечения ТП обогащения, отмывки продуктов формирования рабочей суспензии; z_{10} - сгущенные отходы классов; z_{11} - обезвоженные концентраты шламовых классов; y_3 - шламовые воды, удаленные из схемы во внешние отстойники (загрязнение ОС);
Схема регенерации	x_9 - магнетит, подаваемый для компенсации потерь с продуктами обогащения; z_{13} - обратная вода для восстановления объема рабочей суспензии	z_2 - рабочая суспензия с заданным расходом и плотностью
Сушильное отделение	z_6, z_{11} - мелкие концентраты из гл. цеха и ВШС; x_8 - энергоноситель	z_{14} - обезвоженный мелкий концентрат; y_4 - пылевые и газовые выбросы в атмосферу
Отделение погрузки	y_1 - товарн. продукты; y_2 - отходы обогащения	y_5 - отгружаемые продукты и отходы

Проведенный анализ связей подсистем в технологической схеме показывает, что подсистемы охвачены глубокими циркуляционными потоками и, несмотря на определенную независимость отделений, их взаимовлияние весьма существенно.

Вместе с тем следует отметить, что во всей структуре ОФ потоки неоднородны. В подготовительном отделении — это твердое с определенной влажностью, в главном цехе и схеме регенерации потоки характеризуются содержанием обогащаемой угольной массы, воды, шламовых частиц и магнетита из разделительной среды. В водно-шламовой схеме в потоки могут добавиться флокулянты и реагенты.

Очевидно, что эффективное решение в рассмотренной ситуации задач, перечисленных в данном разделе, невозможно без привлечения математического моделирования и мощных вычислительных средств.

Основным составляющим элементом всех задач является расчет ожидаемых показателей обогащения с учетом всех экономических, технологических и экологических параметров [202, 203, 204].

Для реализации этой задачи необходима разработка:

- математической модели угля как объекта обогащения;
 - математической модели технологической схемы ОФ (ТС ОФ), позволяющей работать с ТС произвольной топологии;
 - математических моделей процессов обогащения и обработки углей;
- а также алгоритмов:
- корректировки состава угля в зависимости от изменения его интегральных качественных показателей и дополнительного измельчения в процессе его транспортировки по ТС ОФ;
 - топологического анализа ТС и построения иерархических структур, обеспечивающих расчет ТС ОФ произвольной топологии;
 - расчета ТС ОФ с учетом всех топологических свойств схемы;
 - расчета ожидаемых показателей обогащения и переработки угля в основных и вспомогательных технологических процессах с учетом конструктивных и технологических параметров;
 - расчета технико - экономических и экологических показателей с целью расчета оптимальных технологических режимов основных процессов обогащения.

7.2. Экономико-математическая модель технологии обогащения

Развивая идею представления ТС ОФ орграфами [7, 205], в которых каждая вершина — технологический аппарат или целый комплекс аппаратов, выполняющих единую процедуру, введем для каждого процесса систему индексов выходящих из него продуктов.

Тогда ТС ОФ задается (рис.7.4) однозначно орграфом $G = (X, \Gamma)$ с "модифицированной" матрицей смежностей $M = [m_{ij}]$, $i, j = \overline{1, n}$, $n = |X|$, в которой

$$m_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } (x_i, x_j) \in A, \\ 0, & \text{при } (x_i, x_j) \notin A, \end{cases}$$

где A — множество дуг в G ; l — индекс продукта, направленного из x_i в x_j ; $x_i, x_j \in X$, где X — множество вершин(процессов).

Для реализации автоматического режима расчета ТС ОФ необходимо построить иерархическую структуру графа G (рис. 7.5), с тем чтобы обеспечить последовательный расчет процессов по уровням иерархии.

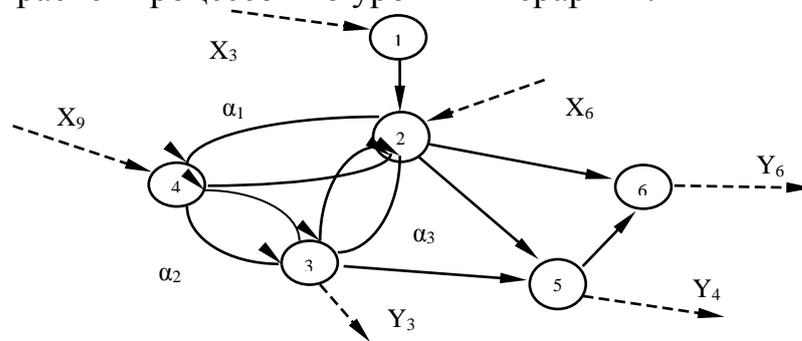


Рис. 7.4. Оргграф ТС ОФ

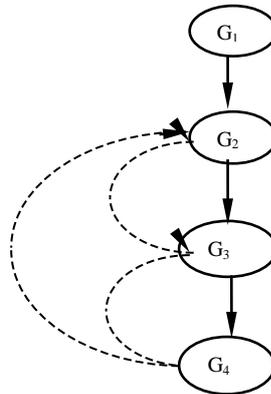


Рис. 7.5. Иерархическая структура ТС ОФ.

Это достаточно просто сделать, если G — ациклический оргграф, например G_2 (рис. 7.6), Его иерархическая структура представлена на рис. 7.7. Однако в противном случае построение структуры возможно лишь при разрыве некоторых дуг, а для реализации расчета одновременно изменить тип алгоритма расчета структуры от последовательной для G_2 к итеративной.

Таким образом, предварительными процедурами для построения иерархической структуры графа G должны быть: выделение связанных компонент (СК) графа [205]; удаление СК из G и построение конденсации G и ее иерархической структуры; разрез минимального числа дуг в СК для построения ациклических подграфов из всех СК и построения их структур.

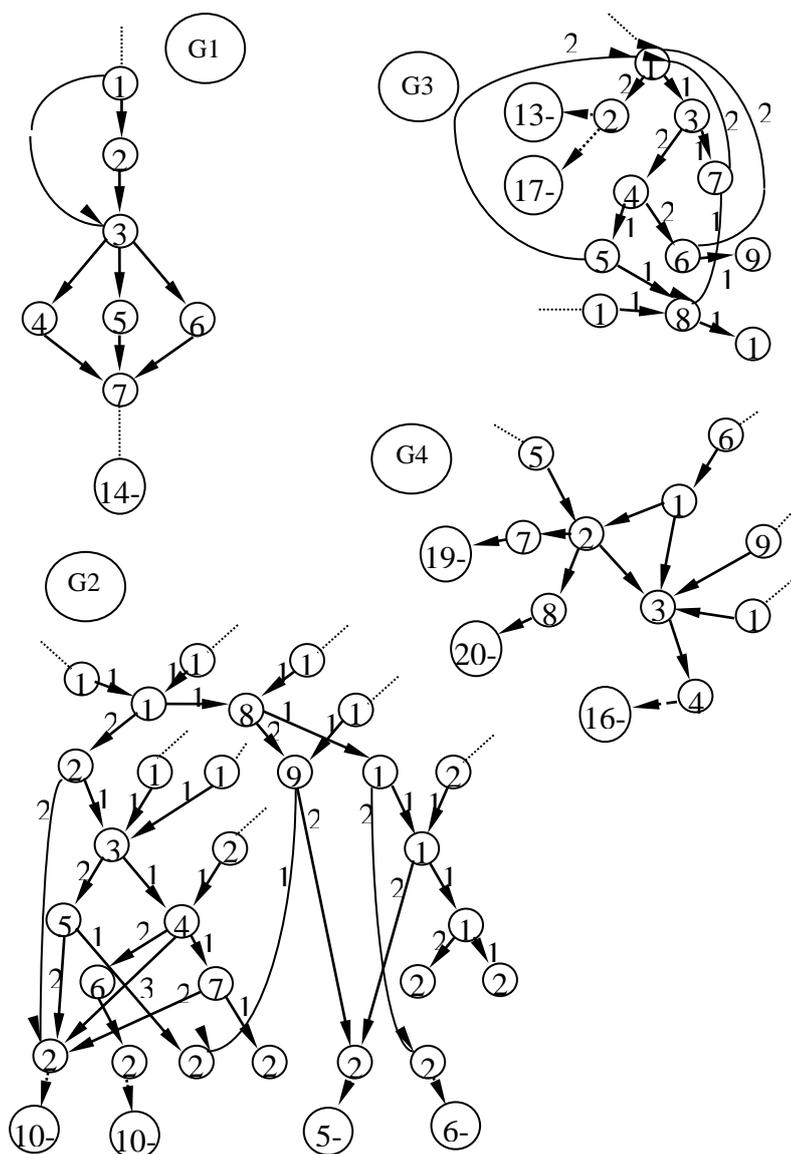


Рис. 7.6. Графы подсистем ТС ОФ

Все указанные процедуры опишем для графа G3 (рис. 7.8).

На базе его матрицы смежностей формируем матрицу достижимостей $R = [r_{ij}]$,

где $r_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ при } x_j \in R(x_i), & R(x_i) = \{x_i\} \cup \Gamma(x_i) \cup \Gamma^2(x_i) \cup \dots \cup \Gamma^p(x_i), p \leq n, \\ 0, \text{ при } x_j \notin R(x_i), & \vartheta(x_i) = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}\}, (x_i, x_{ig}) \in A, g = \overline{1, k}, n = |x|. \end{cases}$

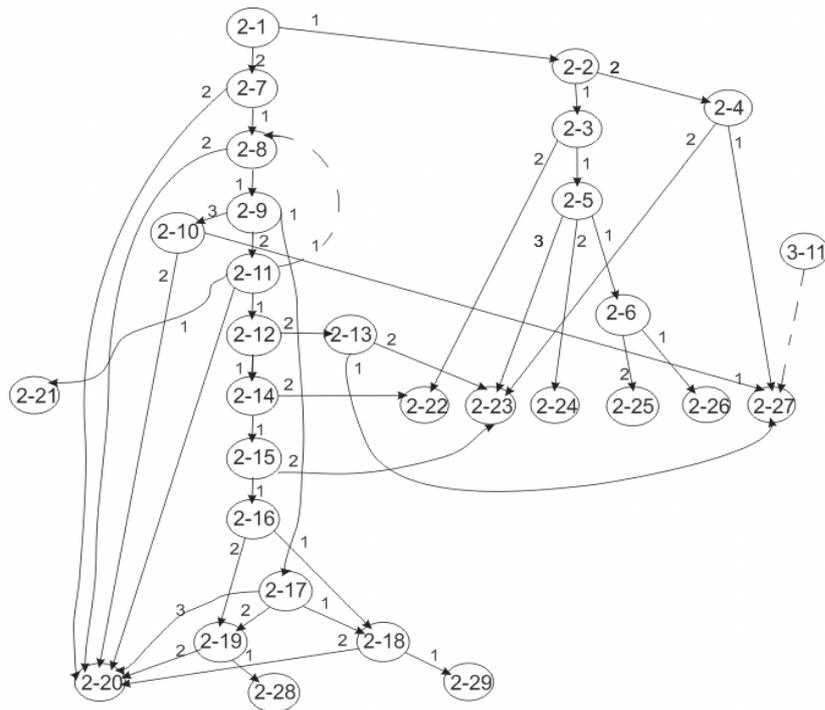


Рис. 7.7. Граф главного обогатительного цеха ОФ.

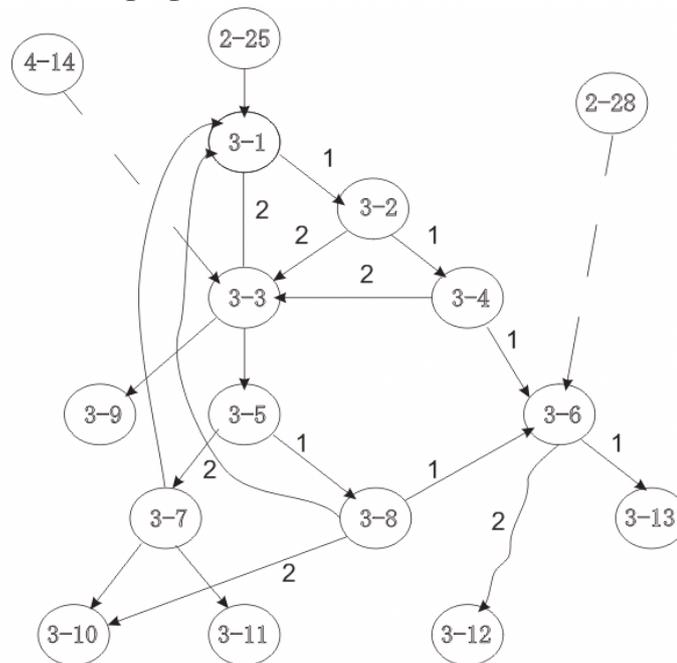


Рис. 7.8. Граф ВШС ОФ.

Далее получим матрицу $V = [v_{ij}]$, такую, что $V = R \otimes R^T$, где элементы $v_{ij} = r_{ij}r_{ji}$ в своих, отличных от нуля значениях, указывают индексы взаимно достижимых вершин. На ее основании строим [61] конденсацию $G^*(X^*, \Gamma^*)$, т.е. граф, такой, что (X_s^*, X_p^*) существуют в G^* тогда и только тогда, когда в G существует дуга (x_i, x_j) такая, что $x_i \in X_s^*, x_j \in X_p^*$ и $p \neq s$.

Полученная конденсация G^* является ациклическим графом, и для него может быть построена иерархическая структура.

Каждая вершина в G^* имеет пометку, определяющую, является ли она СК. Если она таковой является, то для нее должна быть описана оптимальная иерархическая структура, которая должна быть получена в условиях отсутствия априорной информации о потоках в ней.

Тогда структура СК может быть оптимальной только в смысле разрыва минимального числа дуг для обращения ее в ациклический граф [205].

Эта процедура может быть осуществлена на основе остовного подграфа $G_s = (X_s, \partial_s)$, $s = \overline{1, g}$, $X_s \subseteq X$, $\partial_s \subseteq \partial$ с его матрицей смежностей M_s , выделением всех цепей: $x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_g}$, $x_{i_1} = x_{i_g}$, $x_{i_r} \neq x_{i_p}$ для остальных вершин в цепи.

Если таких цепей (простых оргциклов) выделено z , тогда строим матрицу A размерностью $x \times y$, где y — число различных дуг, использованных во всех циклах. Элементами матрицы являются логические константы:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я дуга} \in i\text{-му циклу} \\ 0, & \text{если } j\text{-я дуга} \notin j\text{-му циклу} \end{cases}$$

Решим на A задачу о минимальном покрытии, которая будет соответствовать отысканию минимального числа дуг, разрывающих все z циклов.

Удаляя полученные дуги из ∂_s и M_s , производим построение иерархической структуры уже ациклического графа G_s . Если указанная процедура выполнена для всех СК, то расчет ТС ОФ выполняется по структуре G^* , начиная с верхнего уровня последовательно до самого нижнего уровня.

Если на некотором шаге выбрана вершина x_i^* и она не является СК, то производится ее расчет. Если x_i^* имеет метку СК, то обращаются к разработанной структуре соответствующей СК ($x_i^* \in X_s$) и производится итеративный расчет СК до тех пор, пока после $(it + 1)$ -й итерации для количественных показателей потоков в сети не будет выполняться условие:

$$\left| \frac{Q_{ij}^{it+1} - Q_{ij}^{it}}{Q_{ij}^{it+1}} \right| < \varepsilon,$$

где Q_{ij} относится к дуге $(x_i, x_j) \in A_s$; обычно $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-3}$.

В процессе расчета СК будут рассчитаны все вершины данной СК и далее производится расчет по структуре конденсации G^* .

При использовании данной модели обеспечиваются адекватное отражение топологических свойств ТС ОФ и разработка стандартных процедур анализа, декомпозиции ТС и выполнения расчетов на любом наборе процессов, реализующих разделение угля.

Эта модель допускает возможность использования ее как для целей управления, так и для планирования и проектирования.

В работе разработаны экологические модели и программное обеспечение процессов переработки угля, а именно: модели процесса сухой классификации (на одном сите), дробления, а также модели процессов обогащения в тяжелосредних

сепараторах, циклонах и сброс суспензии после тяжелосредних процессов и отмывка магнетита, отсадкой, обезвоживания, модели процессов сгущения и др.

7.3. Пример моделирования ТС и процессов переработки угля

В качестве одного из примеров для отработки моделей ТС ОФ и процессов переработки были использованы данные по ЦОФ "Комендантская" ПО "Антрацитуглеобогащение". Это связано прежде всего с изученностью ТС ОФ, достаточным объемом экспериментальных данных по процессам и сырьевой базе ЦОФ.

Кроме того, данная ОФ обладает ТС, способной осуществлять многопродуктовое обогащение с выпуском: а) концентратов сортов 0-6, 6-13, 13-25, 25-50, > 50 мм; б) концентратов и мелкого промпродукта.

Вариабельность ТС позволяет реализовать выпуск продуктов варианта а), используя либо обогащение промпродукта в тяжелосредних циклонах, либо в циркуляции в отсадочных машинах.

Одной из трудностей ЦОФ "Комендантская" является отсутствие возможности усреднения рядовых углей и необходимость работы "с колес". Поэтому основными моментами в исследовании ЦОФ является изучение и моделирование работы главного обогатительного цеха (ГОЦ), водно-шламовой схемы (ВШС), схемы регенерации (СР) и сырьевой базы ЦОФ.

ТС ОФ и соответствующие графы G2, G3, G4 представлены на рис. 7.7 - 7.10. Варианты схем отражены на рис. 7.10 и 7.7 (G2) пунктирной и волнистой линиями.

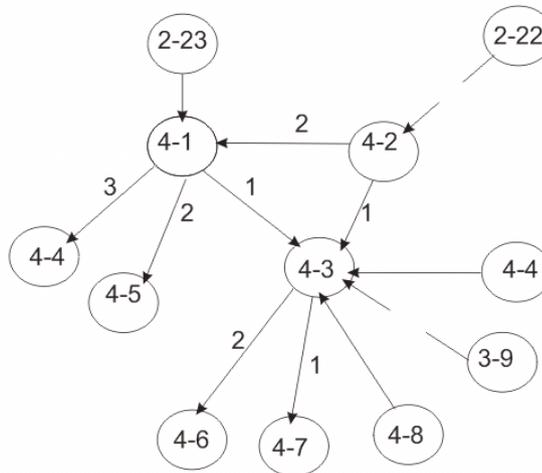


Рис. 7.9. Граф подсистемы регенерации

Очевидно, что прежде всего для оценки адекватности модели ТС ОФ и основных процессов обогащения можно выполнить сравнение вариантов обогащения мелкого антрацита для основных диапазонов изменения показателей рядового антрацита.

Был выполнен анализ вариантов ТС для мелкого антрацита (<13мм):

- отсадка с выпуском сортов АС (6-13мм), АШ(<6мм) и промпродукта (ПП) (вариант 1);
- отсадка с выпуском сортов АС, АШ (вариант 2);

- отсадка с переобогащением ПП в тяжелосредных циклонах с выпуском сортов АС и АШ (вариант 3).

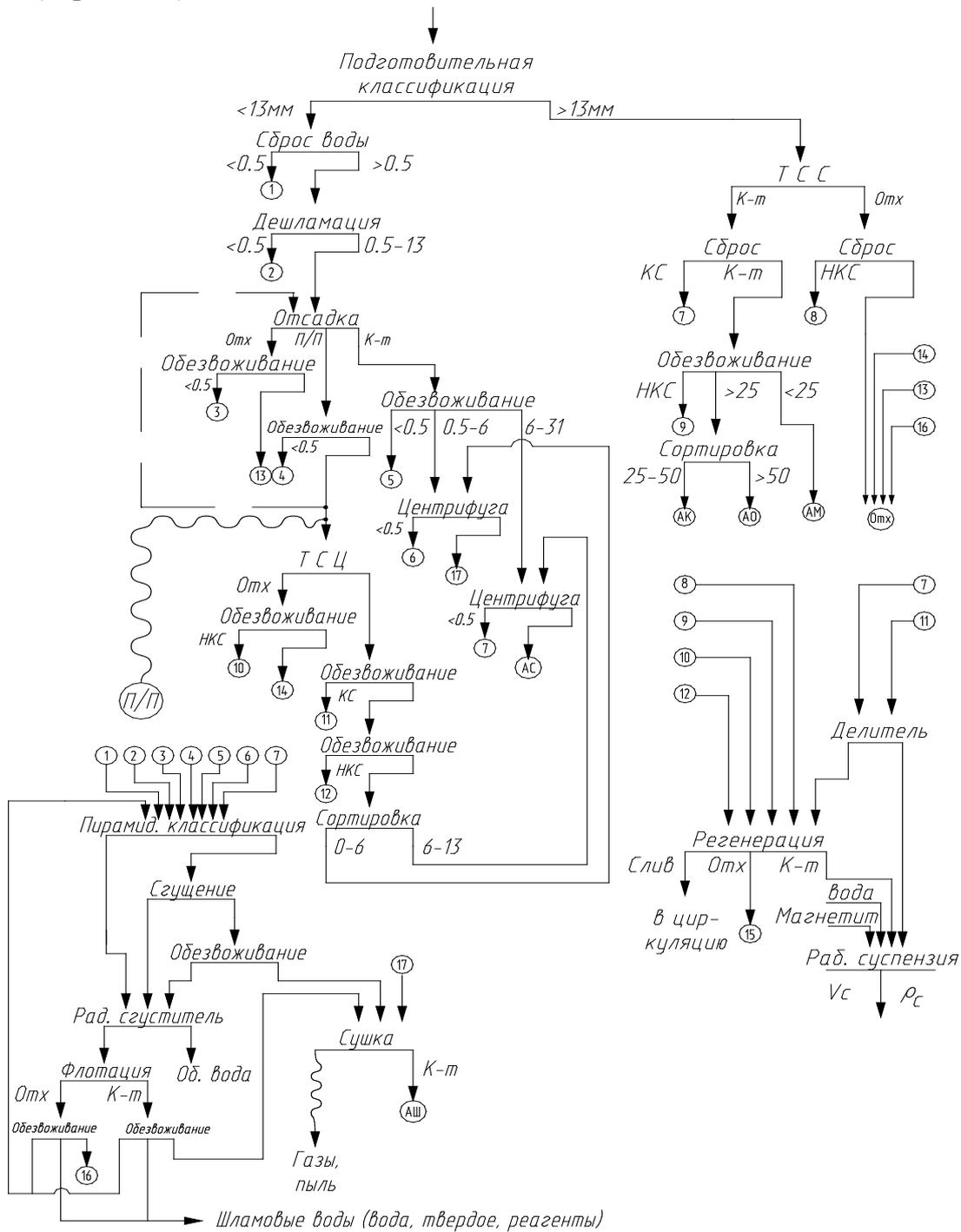


Рис. 7.10. Вариант ТС ОФ

Параметры моделей технологических процессов получены из данных исследований в ТС ЦОФ "Комендантская". Чтобы оценить технико-экономические показатели ТС и их устойчивость, расчеты проведены с учетом колебаний зольности питания и содержания в нем промежуточных фракций.

Вариант А исходных данных (табл. 7.2) относится к "наилучшим" в шихте: $A^d = 23.2\%$, содержание смежных фракций $P_0 = 4.9\%$. Вариант В соответствует средним

показателям в шихте ($A^d = 33.2$, $P_0 = 4.9\%$), а вариант С — наихудшим показателям по смежным фракциям ($P_0 = 11.9\%$). Указанные диапазоны изменения зольности и содержания смежных фракций охватывают диапазоны изменения A^d и P_0 в шихте

Таблица 7.2

Исходные данные к расчетам

Плотность фракций, кг/м	Зола, %	Выходы, %		
		В а р и а н т ы		
		А	В	С
<1700	3.4	64.60	54.66	59.80
1700-1800	9.3	9.57	8.10	9.57
1800-1900	21.6	1.85	1.57	4.85
1900-2000	33.9	1.56	1.32	3.56
2000-2100	46.8	0.74	0.62	1.74
2100-2200	54.1	0.75	1.17	1.75
2200-2300	64.3	0.79	1.23	1.29
2300-2400	72.4	1.24	1.92	1.24
>2400	90.1	18.91	29.39	16.22
ИТОГО		100	100	100
Общая зола, %		23.2	33.0	23.2

Расчеты с оптимизацией по реализационной стоимости продуктов $s = s(\rho_c, \rho_1, \rho_2)$, где ρ_c — плотность суспензии, кг/м, ρ_1, ρ_2 — плотности разделения на 1-й и 2-й стадиях обогащения отсадкой выполнены с учетом ограничений на зольности сорта АШ ($A_p^d < 14\%$) и промпродукта ($A_p^d < 40\%$).

Результаты расчетов представлены в табл. 7.3. В качестве ограничения по золе $A_{ш}$ установлено $A_p^d = 14\%$, чтобы обеспечить для совокупного сорта $A_{ш}$ зольность $< 15\%$. Как видно из табл. 7.3, вариант 3 схемы обеспечивает заданное качество продукта и имеет наилучшие технико-экономические показатели и параметры устойчивости показателей.

Из таблицы видно также, что в условиях ЦОФ "Комендантская" запрет на выпуск антрацитового промпродукта привел к невозможности функционирования с достижением нормативов по сорту $A_{ш}$. Фактические данные по ЦОФ подтверждают это, и поэтому на фабрике была реализована как основная схема обогащения - вариант 3. Это обеспечило повышение стабильности работы ЦОФ и рост технико-экономических показателей, что и соответствует расчетам и подтверждает адекватность моделей.

После реализации нового варианта ТС ЦОФ "Комендантская" произошло резкое ухудшение сырьевой базы фабрики. Увеличивалась колеблемость зольности рядовых антрацитов от 19 до 65% и средней зольности шихты. Выросло до 25% содержание класса $< 1\text{мм}$ с зольностью от 19 до 41%. Это привело к повышению нагрузок на водно-шламовую схему, дополнительным сбросам воды (со шламом и реагентами) во внешние отстойники, более высоким потерям магнетита, расходу

чистой воды, более высоким удельным затратам (на 1 т р/у) топлива на сушку мелких продуктов и повышенному выделению в атмосферу газов и пыли.

В табл. 7.4 приведены колебания значений выходов классов и содержание золы в них. Из этой таблицы видно, что в пиковые моменты нагрузка на водно-шламовую схему будет соответствовать до 400 т/ч (при норме 250 т/ч) и на сушку до 550 т/ч (при норме до 350 т/ч). Если учесть еще большие объемы циркулирующего в системе шлама, то все эти факторы приводят к неустойчивой работе ТС - отказом из-за перегрузов обезвоживающих фильтров, резкому повышению влажности кека и как следствие, к отказам в сушильном отделении.

Такие перегрузы требуют сброса шламовых вод в отстойники, большому расходу свежей воды, реагентов.

Выполненные на основании разработанных моделей и алгоритмов, расчеты ТС ЦОФ "Комендантская" показаны в табл. 7.5 совместно с плановыми и фактическими данными на тот период. В расчетах использованы алгоритмы корректировки качественных показателей шихты с учетом ее фактической зольности и дополнительного шламообразования.

Таблица 7.3

Результаты расчетов

Вариант	Оптимальное значение $S(\rho_c, \rho_1, \rho_2)$ р/т	Отклонения показателя S от оптимального при изменении плотности разделения от оптимальной на $\pm 25 \text{ кг/м}^3$							
		$\Delta S(\rho_1)$	$\Delta S(\rho_2)$	$\Delta S(\rho_c)$	$\Delta A_{ш}(\rho_1)$	$\Delta A_{ш}(\rho_2)$	$\Delta A_{ш}(\rho_c)$	$\Delta A_{п}(\rho_1)$	$\Delta A_{п}(\rho_2)$
A1	24.02	0.14	0.44	—	0.09	0.32	—	0.35	5.54
A2	25.80	0.24	0.02	—	0.28	0.21	—	—	—
A3	25.91	0.12	0.01	0.02	0.12	0.22	0.12	—	—
B1	19.27	0.07	0.23	—	0.15	0.41	—	1.31	2.28
B2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B3	24.41	0.11	0.01	0.04	0.10	0.45	0.08	—	—
C1	23.61	0.19	0.45	—	0.09	0.34	—	0.95	4.49
C2	23.40	0.18	0.27	—	0.25	0.20	—	—	—
C3	25.37	0.13	0.01	0.06	0.12	0.24	0.11	—	—

Таблица 7.4

Колебания значений выходов классов и содержание золы

Класс, мм	$\gamma, \%$	$A^d, \%$
>25	9.2-33.8	21.6-70.2
13-25	9.8-14.6	18.2-52.9
6-13	10.6-26.9	15.2-41.6
3-6	4.7-17.3	11.2-38.6
1-3	13.7-30.2	13.0-36.0
<1	8.3-25.1	19.5-41.1

Таблица 7.5

Данные о работе ЦОФ "Комендантская"
(Производительность: план - 825 т/г; фактич.- 1115 т/г)

Показатели	план		факт		расчет		Норма
	γ	A^d	γ	A^d	γ	A^d	
Выход продуктов, %							
концентрат в том числе	70.2	11.5	60.81	11.4	66.5	11.5	
АК	2.3	6.7	1.80	5.7	2.7	6.3	<7.5
АО	3.5	6.3	2.14	6.3	3.0	6.4	<7.9
АКО	2.6	6.5	1.80	6.0	—	—	6.5
АМ	7.9	7.6	7.27	6.9	7.4	7.2	7.6-8.9
АС	18.8	10.3	16.25	7.9	19.1	8.1	10.3011.9
АШ	35.1	14.2	31.55	15.3	34.3	15.3	14.2-15.0
отходы	29.8	73.5	39.19	74.9	33.5	85.4	
Итого	100	30.0	100	36.3	100	36.3	

Таблица 7.6

Колеблемость фактической зольности продуктов

Сорт концентрата	$M[A^d],\%$	$\gamma,\%$
АКО	5.9	0.6
АМ	6.8	0.9
АС	7.3	1.2
АШ	15.5	1.2

В качестве контрольных данных в расчетах требовалось максимальное приближение к фактическим данным по зольности сорта АШ и концентрата в целом.

С учетом экспериментальных данных по колеблемости зольности сортов концентрата (табл. 7.6), сравнивая фактические и расчетные данные, можно утверждать о вполне удовлетворительной адекватности математических моделей ТС ОФ и процессов переработки угля в схеме ОФ.

Снижение выхода концентрата в фактических данных вполне объяснимо из анализа распределения поступления рядовых углей. Если среднесуточное поступление \bar{Q} составляло 18600 т, то $\sigma_Q = 4500$ т.

Таким образом, если учесть фактическую производительность, составлявшую в этот период 135% нормативной и дополнительные перегрузы из-за колеблемости поставок, то обогатительная фабрика работала зачастую с нагрузкой, в 1.67 раза превышающей норматив, т.е. практически в состоянии технологического отказа, при резко сниженных эффективностях разделения и обработке угля.

7.4. Модели процессов обогащения в условиях неопределенности

Технологические процессы обогащения (тяжелосреднее, отсадка, флотация, сушка и др.) характеризуются как сложные, многомерные (большое число управляющих и возмущающих параметров), динамические, нестационарные и с

большим временным запаздыванием объекты управления со многими неопределенными параметрами. Исследование существующих подходов моделирования ТП углеобогащения [61, 66, 67] показало, что не всегда можно использовать и получить адекватные функциональные зависимости между входными и выходными параметрами, т.е. возникает необходимость разработки новых методов моделирования, позволяющих учесть трудноформализуемость и гибридность информационной обстановки.

В данном пункте предложены различные подходы к моделированию ТП обогащения [61, 67, 69, 76, 78, 80, 89, 91, 206 и др.], которые могут быть использованы в общей базе "Модель" ИАСУ ОФ для СЭЭМ, а именно: динамические модели углеобогатительных процессов в условиях стохастической неопределенности, моделирование и управление ТП в условиях нечеткой и трудноформализуемой информации и др.

Динамическое моделирование ТП углеобогащения в условиях стохастической неопределенности. При анализе стохастических процессов и временных рядов в задачах идентификации, прогнозирования и управления процессами обогащения очень существенно наличие не только приемлемых и достаточно эффективных оценок корреляционных характеристик, но и их доверительных интервалов, аппроксимирующих функций.

Для применения ЭВМ в контуре управления технологическим процессом необходимо иметь модели контролируемых и возмущающих стохастических процессов в дискретной форме. Поэтому прежде чем произвести статобработку исходной информации, следует рассматривать вопросы выбора интервала дискретности, длины реализации и другие. Этим вопросам в литературе уделено немало внимания. Однако здесь мы кратко укажем лишь на некоторые из них.

Пусть наблюдается некоторый стохастический процесс $x(t)$. Процедуру дискретизации реализации этого процесса в моменты времени $\{t\}$ можно осуществить с шагом h , определяемым из теоремы Шеннона-Котельникова [207-209]:

$$h = \frac{\pi}{\omega_c} (1 - \gamma) \quad \text{или} \quad h = \frac{1 - \gamma}{2f_c}, \quad 0 \leq \gamma \leq 1,$$

где ω_c — верхняя граничная частота финитного спектра наблюдаемого процесса.

Так как на практике $\omega_c = 2\pi f_c$ часто неизвестно, то в качестве f_c можно брать f_0 , где $f_0 = \frac{1}{T_0}$, T_0 — интервал наблюдения, на котором реализация близка к периодической (т.е. T_0 — выделенный скрытый период). Тогда длина реализации и объем выборки связаны соотношением $T = hN$. Следует лишь отметить, что

большинство других оценок параметров h, N, T связаны с предположением нормальности исследуемых процессов. Таким образом, при наличии временных рядов исследуемых процессов в промышленной технологии $\{x(t)\}, \{y(t)\}, t \in [1, T]$ в качестве наиболее распространенных эмпирических оценок нормированных корреляционных (авто- и взаимокорреляционных) функций являются следующие:

$$\widehat{R}_x(k) = \left[(T - |k|) \widehat{R}_x(0) \right]^{-1} \sum_{t=1}^{T-|k|} \overset{\circ}{X}(t) \overset{\circ}{X}(t + |k|), |k| \leq M_T \quad (7.2)$$

или

$$\widehat{r}_x(k) = \left[T \widehat{R}_x(0) \right]^{-1} \sum_{t=1}^{T-|k|} \overset{\circ}{X}(t) \overset{\circ}{X}(t + |k|), |k| \leq M_T, \quad (7.3)$$

где $\overset{\circ}{X}(t) = X(t) - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T X(t)$, $R_x(0) = \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T |X(t) - \bar{X}(t)|^2$,

причем величина M_T , зависящая от T , обладает свойствами: при $T \rightarrow \infty$, $M_T = O(T)$.

В литературе известны разные подходы выбора M_T , например, $M_T = T - 1$, или $M_T = 0,25T$, или же $M_T = 0,1T$ [207]. Для определения $\widehat{R}_y(k)$ и $\widehat{r}_y(k)$ справедливы формулы, аналогичные (7.2), (7.3).

Отметим, что $\widehat{r}_x(k) = \left(1 - \frac{|k|}{T} \right) \widehat{R}_x(k)$ и $\widehat{r}_x(k) \xrightarrow{T \rightarrow \infty} R_x(\tau)$,

хотя оценка $\widehat{r}_x(k)$ является смещенной, в [207] более предпочтительной считается именно формула (7.3) из-за малости среднеквадратической ошибки. В данной работе в качестве нормированной оценки взаимокорреляционной функции использована формула:

$$\widehat{R}_{xy}(k) = \left[(T - |k|) \sqrt{\widehat{R}_x(0) \widehat{R}_y(0)} \right]^{-1} \sum_{t=1}^{T-|k|} \overset{\circ}{X}(t) \overset{\circ}{Y}(t + |k|), \quad (7.4)$$

$$|k| \leq M_T.$$

При этом учитывается, что во-первых, функция $\widehat{R}_{xy}(k)$, в отличие от $\widehat{R}_x(k)$, не является четной, причем четная и нечетная составляющие имеют вид

$$\widehat{R}_{xy}(k) = 0,5 \left[\widehat{R}_{xy}(k) + \widehat{R}_{yx}(k) \right], \widehat{R}_{xy}^n(k) = 0,5 \left[\widehat{R}_{xy}(k) - \widehat{R}_{yx}(k) \right],$$

соответственно, во-вторых, $\widehat{R}_{xy}(k)$ достигает максимума не обязательно в начале координат. Отметим также, что для оценок (7.2)-(7.4) в классе нормальных процессов справедливы соответствующие формулы точности. Наряду с точечными оценками корреляционных характеристик (7.2)-(7.4) важно иметь соответствующие интервальные оценки.

Так, например, известно, что доверительные интервалы для корреляционной функции определяются как

$$P_r \left[th(z_k - \sigma_z \varepsilon_\alpha) \leq R(k) \leq th(z_k + \sigma_z \varepsilon_\alpha) \right] = 1 - \alpha,$$

где: $z_k = 0,5 \ln \frac{1 + \widehat{R}(k)}{1 - \widehat{R}(k)}$ — преобразование Фишера, $\sigma_z^2 = \frac{1}{n-3}$, n — число статически независимых нормально распределенных выборочных значений стационарного процесса $n = 2T/\tau_m$, причем τ_m — максимальный временной сдвиг, при котором $\widehat{R}(\tau_m) = 0$ или, например, $|\widehat{R}(\tau_m)| \leq 0,05|R(0)|$.

Значение n можно также определять как $n = \frac{2N}{M_T} = 2\omega_s T$, где $\omega_s = \frac{1}{\tau_m}$, $\tau_m = nM_T$.

С целью сжатия исходного объема статистической информации и типизации разработанных алгоритмов идентификации и прогнозирования на практике необходимо иметь аналитическое описание вероятностных характеристик. Известно, что нормированная корреляционная функция процесса на выходе линейной системы с передаточной функцией $H(i\omega) = G_m(i\omega)/V_n(i\omega)$, на выходе которой белый шум можно определять как

$$K_x(\tau) = \sum_{i=1}^n e^{-\beta_i|\tau|} (A_i \cos \omega_i \tau + B_i \sin \omega_i |\tau|),$$

если все корни многочлена простые $V_n(p)$, или

$$K_x(\tau) = \sum_{r=1}^k \sum_{j=1}^{v_r} e^{-\beta|\tau|} (A_{rj} \cos \omega_r \tau + B_{rj} \sin \omega_r |\tau|) |\tau|^{v_r-j},$$

если $V_n(p)$ имеет K различных корней, причем корень P_r имеет кратность v_r .

Здесь m — степень полинома $G_m(p)$, а n — степень полинома $V_n(p)$. Для аппроксимации корреляционных функций (7.2)-(7.4) используется обобщенная многопараметрическая модель вида

$$K_x(t, s) \underline{\underline{\Delta}} E \{x(t)x(s)\} = \sum_{i=1}^{n_0} C_i \exp(-\alpha_i |t-s|^{m_i}) \times \\ \times [A_i \cos \omega_i (t-s) + B_i \sin \omega_i (t-s)], \quad (7.5)$$

где $\alpha_i \geq 0, m_i > 0, \sum C_i A_i = 1$.

Для стационарного дифференцируемого процесса $x(t)$ корреляционная функция $K_x(\tau)$ должна удовлетворять следующим условиям:

$$K_x(0) = 1, \dot{K}_x(0) = 0. \quad (7.6)$$

Относительно обобщенной модели (7.5) эти условия имеют вид:

$$\sum_{i=1}^{n_0} C_i (B_i \omega_i - \alpha_i A_i) = 0 \quad \text{при } m_i = 1, i = \overline{1, n_0} \quad (7.7)$$

$$\sum_{i=1}^{n_0} C_i B_i \omega_i = 0 \quad \text{при } m_i > 1, i = \overline{1, n_0} \quad (7.8)$$

В частности, при $m_i = 1, \omega_i = 0, n_0 = 2$ имеем следующую систему условий:

$$\sum_{i=1}^2 d_i = 1, \sum_{i=1}^2 d_i \alpha_i = 0, d_i = A_i C_i,$$

т.е.
$$K_x(\tau) = \frac{\alpha_2}{\alpha_2 - \alpha_1} \exp(-\alpha_1|\tau|) - \frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} \exp(-\alpha_2|\tau|).$$

Следует заметить, что модель вида (7.5), с одной стороны, охватывает широкий класс всех распространенных корреляционных функций, но с другой — из-за наличия вещественного параметра m_i , как отмечено в [72, 73], точность аппроксимации может быть на несколько порядков выше, чем в обычных моделях.

Прежде чем указать на полученные результаты при такой аппроксимации, рассмотрим вопрос, имеющий самостоятельный интерес, а именно выясним, состояние какой динамической системы описывает стохастический процесс $x(t)$ с заданной характеристикой (7.5).

Выполнив расчеты при $n_0 = 1$ и $\omega_i \neq 0$ можно установить, что процесс $x(t)$ удовлетворяет уравнению

$$A_2(D, t; s)x(t) = \varepsilon(t) \forall s < t, \quad (7.9)$$

где $\varepsilon(t)$ — процесс типа белого шума на входе искомой системы:

$$E\{\varepsilon(t)\} = 0, E\{\varepsilon(t)\varepsilon(s)\} = \sigma_\varepsilon^2 \delta(t-s), E\{\varepsilon(t)x(s)\} = 0 \forall s < t,$$

а $A_2(D, t; s)$ — линейный дифференциальный оператор вида:

$$A_2(D, t; s) = D^2 + a_1(t, s)D + a_2(t, s), D = d/dt,$$

где $a_1(t, s) = 2\alpha_i m_i \text{sign}(t-s)|t-s|^{m_i-1}$,

$$a_2(t, s) = \alpha_i m_i (m_i - 1) \text{sign}(t-s)|t-s|^{m_i-2} + \alpha_i^2 m_i^2 |t-s|^{2m_i-2} + \omega_i^2.$$

В частности, при $m_i = 1$ получим, что:

$$a_1(t, s) = 2\alpha_i \text{sign}(t-s), a_2(t, s) = \alpha_i^2 + \omega_i^2,$$

т.е. в стационарном случае имеем следующее дифференциальное уравнение:

$$\ddot{x}(t) + 2\alpha_i \dot{x}(t) + (\alpha_i^2 + \omega_i^2)x(t) = \varepsilon(t),$$

а соответствующая корреляционная функция имеет вид:

$$K_{xi}(\tau) = C_i \exp(-\alpha_i|\tau|) \left(\cos \omega_i \tau + \frac{\alpha_i}{\omega_i} \sin \omega_i |\tau| \right).$$

Отметим, что при $\omega_i = 0$ уравнение (7.9) будет 1-го порядка. Таким образом, введя обозначение $y(t) = Dx(t)$, уравнение (7.9) при $S = 0$ можно представить как:

$$\frac{d\bar{V}}{dt} = F(t)\bar{V}(t) + \bar{\xi}(t),$$

где

$$\bar{V}^T(t) = (y(t), x(t)), \bar{\xi}^T(t) = (\xi(t), 0),$$

$$F(t) = \begin{bmatrix} -a_1(t) - a_2(t) \\ 1 \quad 0 \end{bmatrix}.$$

Итак, задавая лишь вероятностные характеристики, можно иметь динамическую модель системы, априорное задание которой требуется в фильтре Калмана.

В работе наряду с выборочными оценками (7.2)-(7.4) и соответствующими доверительными интервалами для входных и выходных данных промышленного эксперимента процессов отсадки и флотации на ОФ Днепропетровского КХЗ и др. разработана программа аппроксимации характеристик (7.2)-(7.4) моделью (7.5), минимизируя методом Розенброка функцию

$$SKO(\bar{p}) = \sum_{k=0}^{M_T} \theta_k \left| R(k) - E(\bar{p}, k) \right|^2 + \alpha_0 \|\bar{p}\| \rightarrow \min_{\bar{p}}, \quad (7.10)$$

последовательно усложняя модель до достижения желаемой точности аппроксимации и выбирая значимые параметры по F - критерию Фишера. В формуле (7.10) \bar{p} — вектор всех параметров при заданном n_0 , $E(\bar{p}, k)$ — сокращенная запись модели (7.5), $\{\theta_k\}$ — весовые множители, определяющие характер функции $R(k)$, α_0 — параметр регуляризации, $\|\cdot\|$ — евклидова норма. Вопрос выбора наилучшей начальной точки оптимизации (7.10) рассмотрим ниже.

Выбор начального приближения при построении модели, нелинейной по параметрам. Одним из важных вопросов при аппроксимации выборочных корреляционных функций (взаимокорреляционных функций в особенности), имеющих вполне самостоятельный интерес в алгоритмах оптимальной идентификации моделей, нелинейной по параметрам, является проблема обоснованного выбора начального вектора оцениваемых параметров из области глобального оптимума. В частности, такой выбор необходим в многоэкстремальных задачах оптимизации [175, 210, 211].

Рассмотрим эту задачу при построении аналитической модели для корреляционных характеристик по значениям выборочной несмещенной оценки $\hat{R}(jh)$, $j = \overline{1, M}$. В качестве аналитической зависимости берем многопараметрическую модель $F(t, \bar{x})$, где \bar{x} — вектор искомых параметров. Если в качестве меры приближения взять минимизацию среднеквадратического отклонения, т.е.

$$J(x) \triangleq \sum_{j=1}^M \left[R(jh) - F(jh, \bar{x}) \right]^2 \Rightarrow \min_x, \quad (7.11)$$

то при ее численной реализации требуется задание некоторого вектора \bar{x}_0 из предполагаемой области глобальной оптимизации как начального вектора оптимизации (7.11). Разложим в окрестности точки t_0 функцию $F(t, \bar{x})$ по t , с одной стороны как

$$F(t, \bar{x}) = F(t_0, \bar{x}) + \dot{F}_t(t_0, \bar{x})(t - t_0) + 0,5\ddot{F}_t(t_0, \bar{x})(t - t_0)^2 + \dots, \quad (7.12)$$

а с другой —

$$\begin{aligned}
 F(t, \bar{x}) &= C_0 \varphi_{0''}(t) + C_1 \varphi_{1''}(t) + C_2 \varphi_{2''} + \dots = \\
 &= \alpha_0 + \alpha_1(t - t_0) + \alpha_2(t - t_0)^2 + \dots,
 \end{aligned}
 \tag{7.13}$$

где

$$\begin{aligned}
 \varphi_{0''}(t) &= \frac{1}{\sqrt{M}} \Delta a_0(0, M), \\
 \varphi_{1''}(t) &= 2 \sqrt{\frac{3}{M(M^2 - 1)}} t - (M + 1) \sqrt{\frac{3}{M(M^2 - 1)}} \Delta \\
 &\quad \Delta a_1(1, M) t + a_1(0, M), \\
 \varphi_{2''}(t) &= 6 \sqrt{\frac{5}{M(M^2 - 1)(M^2 - 4)}} t^2 - 6(M + 1) \times \\
 &\quad \times \sqrt{\frac{5}{M(M^2 - 1)(M^2 - 4)}} t + \frac{\sqrt{5}(M^2 + 3M + 2)}{\sqrt{M(M^2 - 4)}} \Delta \\
 &\quad \Delta a_2(2, M) t^2 + a_1(1, M) t + a_0(0, M)
 \end{aligned}$$

и т.д., причем $\sum_{l=1}^M \varphi_{j''}(t) \varphi_{l''}(t) = \delta_{kl}, k, l = 0, 1, 2, \dots$

Далее, останавливаясь лишь на квадратических зависимостях в (7.12) и (7.13), будем иметь систему нелинейных уравнений вида:

$$F(t_0, \bar{x}) = \bar{\alpha}_0, \dot{F}_t(t_0, \bar{x}) = \bar{\alpha}_1, \ddot{F}_t(t_0, \bar{x}) = 2\bar{\alpha}_2,
 \tag{7.14}$$

где $\{\alpha_k\}, k = 0, 1, 2$ определяется как:

$$\begin{aligned}
 \bar{\alpha}_2 &= \hat{C}_2 a_2(2, M), \bar{\alpha}_1 = \hat{C}_1 a_1(1, M) + C_2 a_2(1, M) + 2C_2 a_2(2, M) t_0, \\
 \bar{\alpha}_0 &= \hat{C}_0 a_0(0, M) + \hat{c}_1 a_1(0, M) + \hat{c}_2 a_2(0, M) + \\
 &\quad + [\hat{C}_1 a_1(1, M) + \hat{C}_2 a_2(1, M)] t_0 + \hat{C}_2 a_2(2, M) t_0^2,
 \end{aligned}
 \tag{7.15}$$

а $\{C_k\}, k = 0, 1, 2$ — коэффициенты Фурье-Чебышева, т.е.:

$$\hat{C}_k = \sum_{j=1}^M \varphi_{km}(j) \bar{R}(jh).$$

Таким образом, решая систему уравнений (7.14) относительно \bar{x} , при разумно заданной точке t_0 будем иметь соответствующее начальное приближение задачи (7.11).

Рассматривая, в частности, в качестве аппроксиманта для корреляционных характеристик модель вида

$$F(t, x_1, x_2, x_3) \approx \exp[-\alpha_1 t^{x_2}] \cos x_3 t, x_1; x_2 > 0$$

и полагая, например, $x_3^0 \equiv 1, x_2^0 \equiv 1$, что вполне приемлемо для практической реализации процедуры аппроксимации корреляционных функций, получим следующую систему уравнений:

$$\exp(-x_1 t_0) = \bar{\alpha}_0; -x_1 \exp(-x_1 t_0) = \bar{\alpha}_1; x_1^2 \exp(-x_1 t_0) = 2\bar{\alpha}_2.$$

Следовательно, учитывая, что $x_1 > 0$ при $t \geq 0$, можно брать одно из возможных решений: либо $x_1^0 = -\frac{\hat{\alpha}_1}{\hat{\alpha}_0}$, либо $x_1^0 = \left\{ -\frac{2\hat{\alpha}_2}{\hat{\alpha}_1}, -\frac{1}{t_0} \ln \hat{\alpha}_0 \right\}$, если $t_0 \neq 0$ и $\hat{\alpha}_0 > 0$. Дальнейшую оптимизацию следует произвести по условию (7.11).

Для определения приемлемой точки потребуем, чтобы

$$E \left| F^{(n)}(t_0, \bar{x}) - \hat{F}^{(n)}(t_0, \bar{x}) \right|^2 \Rightarrow \min_{t_0}, n = 0, 1, 2, \dots, \quad (7.16)$$

где

$$F(t_0, \bar{x}) = \Phi^T(t_0)C, \hat{F}(t_0, \bar{x}) = \Phi^T(t_0)\hat{C}; C = (C_0, C_1, C_2)^T; \\ \hat{C} = (\hat{C}_1, \hat{C}_2, \hat{C}_3); \Phi^T(t_0) = [\varphi_{0''}(t_0), \varphi_{1''}(t_0), \varphi_{2''}(t_0)]$$

Тогда в силу того, что $E|C - \hat{C}|^2 = \sigma_\varepsilon^2$ — дисперсия ошибок выборочных оценок корреляционной функции, т.е. $\hat{R}(j) = R(j) + \varepsilon(j)$ и $\text{cov}[\varepsilon(i), \varepsilon(j)] = \sigma_\varepsilon^2 \delta_{ij}$, условие (7.16) позволяет получить уравнение:

$$\left[\Phi^{(n)}(t_0) \right]^T \Phi^{(n+1)}(t_0) = 0, n = 0, 1, 2, \dots$$

относительно t_0 . В нашем случае (7.16) запишется как

$$\Phi^T(t_0)\dot{\Phi}(t_0) = 0, \dot{\Phi}^T(t_0)\ddot{\Phi}^T(t_0) = 0,$$

или в развернутом виде:

$$\begin{cases} \varphi_{1''}(t_0)\dot{\varphi}_{1''}(t_0) + \varphi_{2''}(t_0)\dot{\varphi}_{2''}(t_0) = 0, \\ \dot{\varphi}_{2''}(t_0)\ddot{\varphi}_{2''}(t_0) = 0. \end{cases}$$

Таким образом, для определения будем иметь следующее соотношение:

$$b_0 + b_1 t_0 + b_2 t_0^2 + b_3 t_0^3 = 0, \quad (7.17)$$

где $b_0 = a_1(1, M)a_1(0, M) + a_2(1, M)a_2(0, M);$
 $b_1 = a_1^2(1, M) + 2a_2(2, M)a_2(0, M) + a_2^2(1, M);$
 $b_2 = 3a_2(2, M)a_2(1, M); b_3 = 2a_2(2, M),$

а также

$$t_0 = -\frac{a_2(1, M)}{2a_2(2, M)} = \frac{M+1}{2}. \quad (7.18)$$

Полагая теперь $\hat{R}_0(t) = \hat{R}(t)/\exp(\hat{x}_1 t)$ и взяв $F_1(t, x_3) = \cos x_3 t$ в качестве модели для остатка $\hat{R}_0(t)$, будем иметь вместо (7.14) систему для выбора начального

значения x_3^0 в виде:
$$\begin{cases} \cos x_3 t_0 = \hat{\alpha}_0; \\ -x_3 \sin x_3 t_0 = \hat{\alpha}_1; \\ -x_3^2 \cos x_3 t_0 = 2\hat{\alpha}_2, \end{cases}$$
 причем здесь $\hat{C}_k = \sum_{j=1}^M \hat{R}_0(j) \varphi_{km}(j)$.

Таким образом, для выбора разумного начального приближения при идентификации модели, нелинейной по параметрам, имеем схему, легко реализуемую в виде отдельного программного модуля. А именно: задание

аппроксимируемой выборочной функции $\widehat{R}(j), j = \overline{1, M}$; положим $x_3 = 1$.; определение нулевого приближения x_1^0 ; минимизация функции $\sum_j \{R(j) - \exp[-x_1(j-1)^{x_2}]\}^2$ по x_1 и x_2 ; вычисление остатков приближения: $\widehat{R}_0(j) = \widehat{R}(j) / \exp[-\widehat{x}_1(j-1)^{\widehat{x}_2}]$, $j = \overline{1, M}$; определение нулевого приближения x_3^0 ; минимизация функции $\sum_j [\widehat{R}_0(j) - \cos x_3(j-1)]^2$ по x_3 , т.е. аппроксимация остатков.; минимизация функции $\sum_j [\widehat{R}(j) - F(j, x_1, x_2, x_3)]^2$ по всем параметрам, т.е. по x_1, x_2 и x_3 .

В заключение следует подчеркнуть, что, во-первых, выбор только квадратических разложений (7.12), (7.13) обусловлен простотой вычислений, во-вторых, поэтапность определения начальных приближений позволяет наиболее легко решать поставленную задачу и, в-третьих, при подобном подходе модель можно постепенно усложнять для более полного описания соответствующей функции.

Отметим, наконец, что данный подход применим во многих алгоритмах адаптивной оптимальной идентификации.

Динамическая модель для управления процессами обогатительных технологий. Одним из необходимых условий совершенствования управления процессами обогащения является построение приемлемых динамических моделей, отражающие реальные закономерности этих процессов, с одной стороны, но с другой — достаточно простых в вычислительном отношении [72, 73, 78]. Хотя в настоящее время наиболее распространенным способом обогащения угля является гидравлическая отсадка (более 60%), доступные методы синтеза ее математических моделей отсутствуют.

Поэтому рассмотрим вопрос построения динамической модели процесса отсадки как по отдельным, так и по многим взаимосвязанным каналам управления, используя экспериментальные данные, полученные в промышленных условиях. Для этого в качестве входных переменных использованы следующие параметры породного отделения отсадочной машины: Q_n — производительность отсадочной машины (ОМ) по исходному углю (кг/с), т.е. общая нагрузка на ОМ; Q_n^u — производительность ОМ по породе в исходном угле (кг/с); A_u^c — зольность исходного угля (%); γ_n^u — содержание легких фракций в исходном угле породного отделения ОМ (%); H — высота постели. В качестве выходных параметров были использованы: γ — выход легких фракций -1,5 (%); Q_n — производительность ОМ по породе (кг/с); A_n^c — зольность породы(%). По этим стохастическим переменным проведен соответствующий корреляционный анализ и получены необходимые аналитические выражения корреляционных функций (табл. 7.7) для наиболее коррелированных переменных, отобранных программно по некоторому пороговому значению из корреляционной табл.7.8. В частности, для каналов управления:

$H \rightarrow \gamma, Q_n^u \rightarrow \gamma, A_u^c \rightarrow \gamma$. получены импульсные переходные функции $h(t)$ с соответствующими коэффициентами $h_k, k = 0,1,2,\dots$, (табл.7.9), графики которых представлены на рис. 7.11 - 7.13.

Аналогично, решая по МКОР предложенную автором в [66, 67, 72] систему уравнений:

$$\int_a^b \begin{bmatrix} R_{\gamma_n^u \gamma_n^u}(t-\tau) & R_{\gamma_n^u H}(t-\tau) \\ R_{H \gamma_n^u}(t-\tau) & R_{HH}(t-\tau) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11}(\tau) \\ h_{12}(\tau) \end{bmatrix} d\tau = \begin{bmatrix} R_{\gamma_n^u}(t) \\ R_{\gamma_n^u H}(t) \end{bmatrix}, t \in [c, d],$$

при $[a, b] = [0, 55], [c, d] = [0, 65]$ получены также импульсные переходные функции $h_{11}(t), h_{12}(t)$ для двух взаимокоррелированных каналов (рис. 7.14, 7.15). Отметим, что на выходе соответствующей подпрограммы мы имеем не только коэффициенты $\{h_k\}$, но также и коэффициенты передаточной функции.

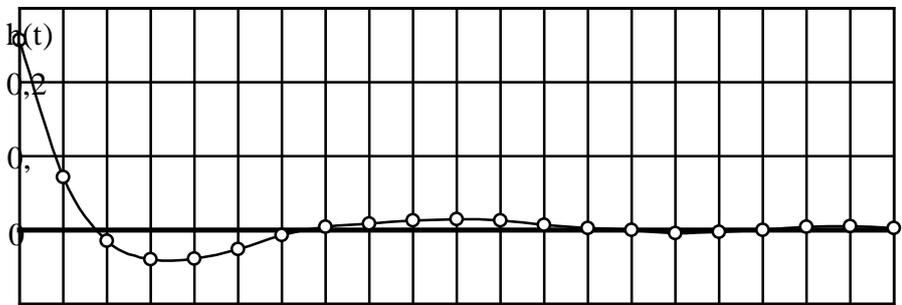


Рис. 7.11. Импульсная характеристика по каналу $Q_n^u \rightarrow \gamma_\Lambda$

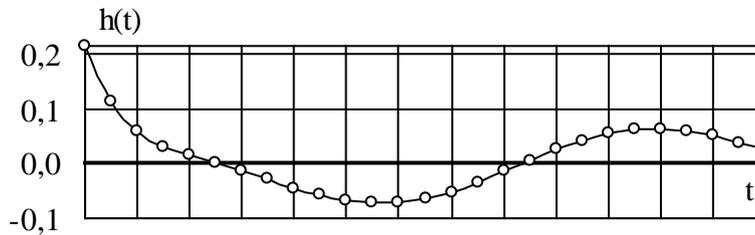


Рис. 7.12. Импульсная переходная функция по каналу $H \rightarrow \gamma_\Lambda$

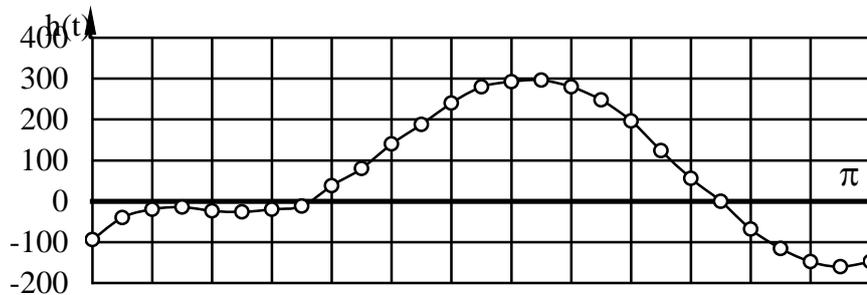


Рис. 7.13. Импульсная переходная функция по каналу управления $A_n^c \rightarrow \gamma_\Lambda$

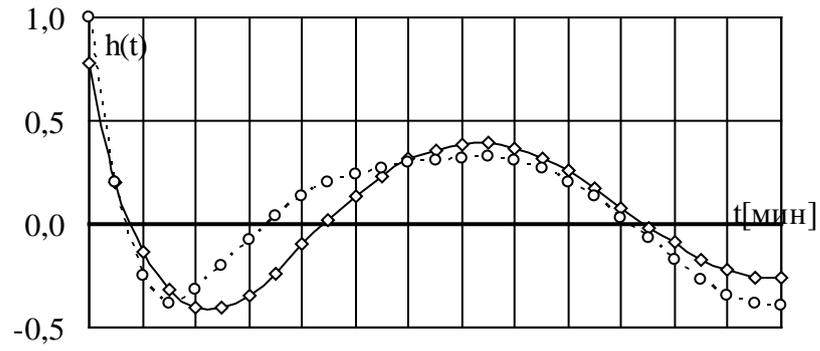


Рис. 7.14. Импульсная переходная функция $h(t)$ для разных порядков:

$$m_1^0 = m_2^0 = 5;$$

$$m_1^0 = m_2^0 = 7$$

Таблица 7.7

Аналитические выражения корреляционных функций

Номер машинного эксперимента	Оценка корреляционной функции	Наименьшее значение SKO	Оптимальные значения параметров модели корреляционной функции							Примечание
			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	
1	$\widehat{R}_{x_i x_j}(\tau)$	SKO	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	11
1	$\widehat{R}_{cc}(\tau)$	0.0045	.3578	0.6770	.3681					$\alpha_0 = 0;$ NRAP = 3
	$\widehat{R}_{A_k^c A_k^c}(\tau)$	0.0086	.1729	1.8838	.4555					
	$\widehat{R}_{CA_k^c}(\tau)$	0.0100	.0084	2.2270	.4041					
	$\widehat{R}_{A_k^c C}(\tau)$	0.0108	.0098	2.6092	.5033					
2	$\widehat{R}_{cc}(\tau)$	0.0019	.5892	0.5725	.3624	.1582	.8914	-1.1797	.6509	$\alpha_0 = 0;$ NRAP = 10
	$\widehat{R}_{A_k^c A_k^c}(\tau)$	0.0086	.1729	1.8838	.4555					
	$\widehat{R}_{CA_k^c}(\tau)$	0.0100	.0084	2.2270	.4041					
	$\widehat{R}_{A_k^c C}(\tau)$	0.0108	.0098	2.6092	.5033					
3	$\widehat{R}_{A_o^c A_o^c}(\tau)$	0.0021	.1500	.3700	.0480					$\alpha_0 = 0;$ NRAP = 3
	$\widehat{R}_{q_c q_c}(\tau)$	0.0022	.2280	.4172	-0.0431					
	$\widehat{R}_{A_o^c q_c}(\tau)$	0.0016	.0680	.6443	.0354					
	$\widehat{R}_{q_c A_o^c}(\tau)$	0.0015	.1378	.3031	-0.0513					
4	$\widehat{R}_{cc}(\tau)$	0.0021	.3473	.6642	.3723	.0989	.9568	-.0998	.00001	$\alpha_0 = 0;$ NRAP = 10
	$\widehat{R}_{A_{II}^c A_{II}^c}(\tau)$	0.0061	.2272	.9664	-.0001					
	$\widehat{R}_{CA_{II}^c}(\tau)$	—	—	—	—					
	$\widehat{R}_{A_{II}^c C}(\tau)$	—	—	—	—					
5	$\widehat{R}_{cc}(\tau)$	0.0023	.6500	.5345	.3619	1598	8956	-1.4373	.7473	$\alpha_0 = 10^{-5};$ NRAP = 10
	$\widehat{R}_{A_{II}^c A_{II}^c}(\tau)$	0.0061	.2272	.9664	-.0001					
	$\widehat{R}_{CA_{II}^c}(\tau)$	0.0082	.2837	2.9951	4.5588					
	$\widehat{R}_{A_{II}^c C}(\tau)$	0.0642	.1358	3.7706	1.7567					
6	$\widehat{R}_{Q_u Q_u}(\tau)$	0.0066	.1709	2.3309	.7407					$\alpha_0 = 0;$ NRAP = 10
	$\widehat{R}_{A_{II}^c A_{II}^c}(\tau)$	0.0061	.2271	.9664	-.0001					
	$\widehat{R}_{Q_u A_{II}^c}(\tau)$	0.0349	1.5271	0.0	.0968	.4594	.3020			
	$\widehat{R}_{A_{II}^c Q_u}(\tau)$	0.0246	2.4424	0.0	.5811	.1159	2.0236	.0301	.7939	

Таблица 7.8

Корреляционная таблица

J \ I	C	Q _{исх}	A _и ^c	q _в	q _с	A _к ^c	A _о ^c
C	0.9958	-0.2183	0.0176	-0.1608	-0.2440	0.1472	-0.2196
Q _{исх}		0.9958	-0.0372	-0.7290	-0.8518	0.6882	-0.7032
A _и ^c			0.9958	0.1796	0.0434	0.2613	0.2224
q _в				0.9958	0.8725	-0.4825	0.7357
q _с					0.9958	-0.6932	0.7689
A _к ^c						0.9958	-0.5690
A _о ^c							0.9958

Таблица 7.9

Канал управления	Коэффициенты импульсной переходной функции										Примечание
	-h ₀	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉	
C → A _к ^c	.01036	-.0145	.0256	-.0309	.0415	-.0404	.0468	-.0332	.0263		Верх-не- Ду-ванск. ЦОФ
q _с → A _о ^c	.01356	-.0175	.0159	-.0167	.0151	-.0165	.01391	-.0147	.01022	-.0102	—
C → A _к ^c	.00386	-.0076	.0085	-.0121	.0104	-.0118	.00966	-.0161	.00831	-.0079	ОФ Днеп- ропетров- ского КХЗ
q _с → A _о ^c	.05442	-.0696	.0846	-.0769	.0810	-.0697	.06679	-.0547	.04569	-.0353	—

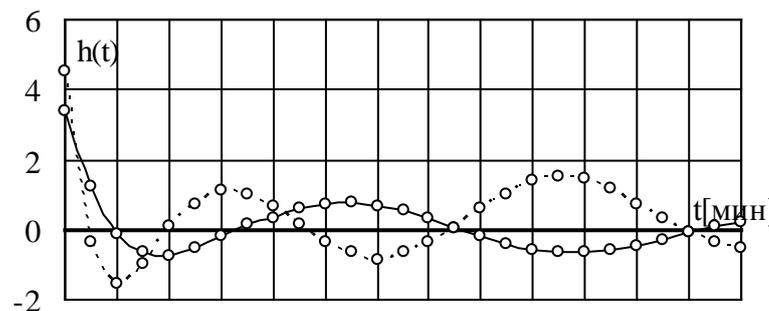


Рис. 7.15. Импульсная переходная функция $h(t)$ для разных порядков: $m_1^0 = m_2^0 = 5$;
 $m_1^0 = m_2^0 = 7$.

Таким образом, для описания каждого интересующего нас канала управления процессом отсадки можно построить линейную динамическую модель как для одно-, так и многомерных объектов, например в виде:

$$\begin{aligned}\widehat{\gamma}_n(t) &= m_{\gamma} + \sum_{k=0}^m h_k \int_0^T [H(t-\tau) - m_H] \varphi_k(\tau) d\tau = \\ &= 1,57 + \sum_{k=0}^m h_k \int_0^{35} \varphi_k(\tau) [H(t-\tau) - 191] d\tau,\end{aligned}$$

которая позволяет установить математическую зависимость выхода легких фракций от высоты постели в ОМ в динамике.

Наличие такой зависимости дает возможность прогнозировать значения выхода $\gamma(t+n\theta)$ при изменении высоты постели, что очень важно для оперативного управления технологическим процессом отсадки.

Заметим также, что при наличии зависимости вида

$$\dot{y}(t) = \int_0^T \widehat{h}(\tau) \dot{x}(t-\tau) d\tau$$

или, в дискретной форме:

$$y(i) \equiv \dot{y}(i\Delta) = a_0 x(i) + \dots + a_{n-1} x(i-n+1), x(i) \equiv \dot{x}(i\Delta),$$

где $a_j = \Delta \widehat{h}(j\Delta)$, $n = T/\Delta + 1$, $i = n-1, n, \dots, N-1$, процедуру определения одношагового управляющего воздействия δx_N по x можно получить из следующих простых соображений:

$$y(N) = a_0 x(N) + a_1 x(N-1) + \dots + a_{n-1} x(N-n+1),$$

$$y^*(N) = a_0 x^*(N) + a_1 x(N-1) + \dots + a_{n-1} x(N-n+1),$$

где $y^*(N)$ — желаемое значение выхода в момент $N\Delta$,

$x^*(N) = x(N) + \delta x_N$, причем $x(N)$ — реальное значение выходной переменной в момент $N\Delta$, а δx_N — поправка необходимая для получения $y^*(N)$, т.е. при $a_0 \neq 0$ имеем:

$$\delta x_N = [y^*(N) - y(N)] / a_0.$$

Для повышения надежности этого алгоритма управления необходимо контролировать возможные диапазоны изменения всех параметров.

Другим важным методом в обогатительной технологии угля является обогащение способом флотации с применением различных реагентов. Для построения математической модели этого процесса с целью более глубокого его анализа были использованы предыдущие результаты данной работы, а в качестве исходного материала были взяты экспериментальные данные, снятые с дискретностью в пять минут (как и выше) в разные периоды на Верхне-Дуванской ЦОФ и ОФ Днепропетровского КХЗ. При этом были приняты следующие обозначения: S — содержание твердого в исходной пульпе (г/л), Q_n — объемная нагрузка на флотомашину (м³/час), A_n^c — зольность исходного шлама (%), $q_{\%}$ — удельный расход реагента-вспенивателя, q_c — удельный расход реагента-собирателя (кг/т), A_k^c — зольность флотоконцентрата (%), A_o^c — зольность отходов флотации (%).

При синтезе указанной динамической модели флотопроцесса для каналов управления: были выполнены аналогичные расчеты, что и для процесса отсадки.

Результаты вычислений приводятся в приложении К рис. К.1 – К.2, а также в соответствующих табл. К.1-К.2 того же приложения.

7.5. Модели эколого-экономического управления процессом сушки угля

Проблема разработки системы экологического мониторинга, управления и принятия решений характеризуется многоаспектностью и требует привлечения теории и методов современных информационных технологий, в том числе создания интегрированных автоматизированных систем на основе информационно-вычислительных сетей, интеллектуальных АРМ экологов и другого персонала, а также методов адаптивного и интеллектуального управления технологическими процессами в реальном масштабе времени на базе комплекса технологико-экономических и экологических критериев.

В данном параграфе определены основные технологико-экологические и экономические (ТЭЭ) параметры и критерии, предложена структура гибридной интеллектуальной системы управления и принятия эколого-экономических и технологических решений, даны традиционные модели сушки, построены соответствующие терм-множества, рассмотрены и даны фрагменты нечеткой БЗ для управления и принятия решений в реальном режиме работы и использованы при этом экспоненциальные функции принадлежности соответствующих нечетких множеств (для отклонения, его производной, управления, принятия решений и адаптации). Приведен алгоритм функционирования и реализации предложенного подхода [1, 4, 57].

П о с т а н о в к а з а д а ч и. Создание автоматизированной системы управления сушильной установкой требует более всего учета многоуровневости управления, многопараметричности и многокритериальности, а также трудноформализуемости и нечеткости процессов управления. Основной задачей при этом является стабилизация влажности угля с учетом экологических ограничений на загрязнение окружающей природной среды. Такая задача может быть решена с использованием адаптивной и интеллектуальной системы управления, основанной на нечеткой базе знаний.

На рис. 7.16 приведена обобщенная схема автоматизированной сушильной установки, учитывающей три уровня автоматизированного управления [1, 4, 206, 207].

Источником оксида углерода является химический недожег топлива, который зависит от высоты слоя топлива, его крупности и количества первичного воздуха. Источником пыли является механический недожег из-за недостаточной температуры горения факела, в результате чего частицы угля не успевают сгореть за время движения колосниковой решетки от момента воспламенения до схода с решетки в отвал, а также пересушка угля из-за повышенной температуры сушильного агента. О степени механического недожега судят по температуре факела и золы. Концентрация диоксида азота в отходящих газах зависит от температуры в топке и возрастает с увеличением последней. Концентрация сернистого ангидрида зависит от количества сжигаемого топлива при постоянном

его содержания в угле. Поэтому при управлении процессом сушки угля с целью стабилизации влажности конечного продукта при ограничениях на концентрацию вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу приоритетными воздействиями, следует считать те, которые приводят к снижению химического и механического недожега, а при необходимости — к снижению производительности по сырому углю.

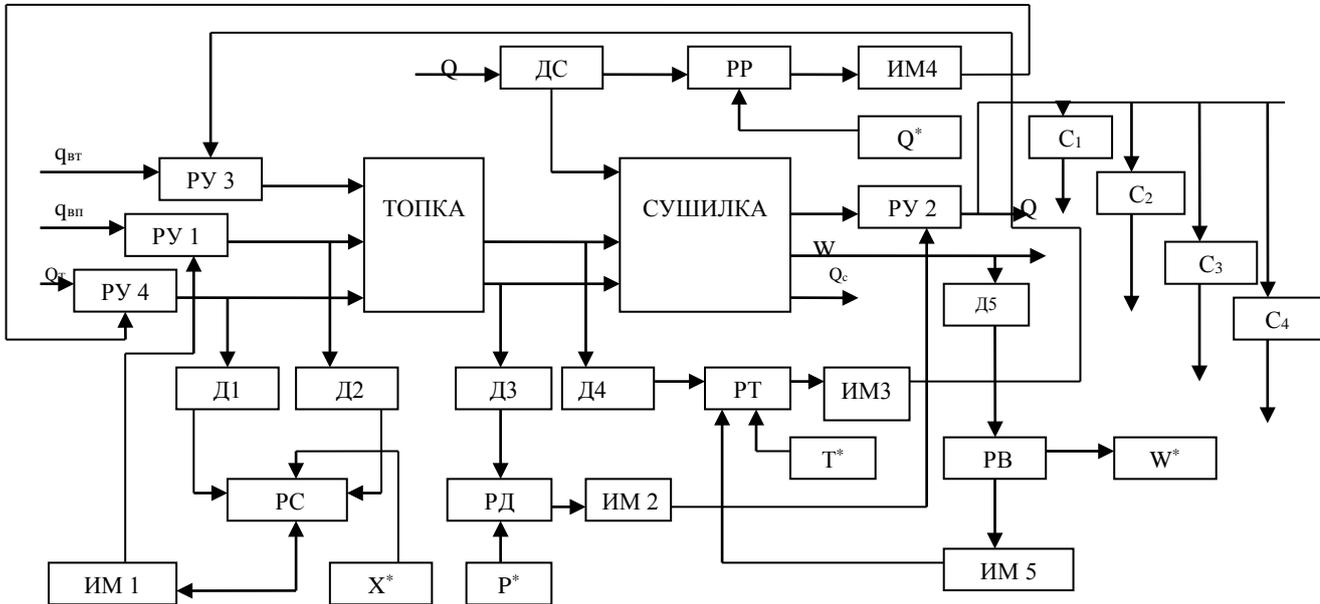


Рис.7.16. Схема автоматизированной сушильной установки:

Д1, Д2, Д3, Д4, Д5 — датчики расхода топлива, первичного воздуха, разрежения, температуры, влажности и исходного сырого угля соответственно; РС, РД, РТ, РВ, РР — регулятор соотношения, давления, температуры, влажности, расхода сырого угля соответственно; ИМ1 - ИМ5 — исполнительный механизм; РУ1 - РУ4 — регулирующие устройства; x^*, p^*, T^*, W^*, Q^* — задатчики соотношения, разряжения, температуры, влажности и расхода сырого угля; Q_c — производительность по высушенному углю; $q_{вт}, q_{вп}$ — расходы вторичного воздуха и первичного воздуха; Q_t — расход топлива; T_a — температура сушильного агента; p — разрежение в топке; $Q_{ов}$ — расход отходящих газов; W — влажность высушенного угля; C_1, C_2, C_3, C_4 — концентрация пыли, диоксида азота, оксида углерода и сернистого ангидрида, соответственно; Q — нагрузка на сушильную установку по сырому углю.

Стратегия управления принципиально не изменяется при любом уровне автоматизации. Отличие заключается только в способе реализации управляющих воздействий: изменение задания локальным регуляторам или через оператора.

Критерий локального управления процессом сушки можно представить в следующем виде:

$$W \rightarrow W^* = const, \eta \rightarrow \max, C_v \leq C_v^*, v = \overline{1,4}, Q_c \leq (1-s)Q_c^* \quad (7.19)$$

$$\text{где } S = \sum_{v=1}^4 K_v^* (C_v^* - C_v) [C_v^* - C_v]_+, [C_v^* - C_v]_+ \triangleq \begin{cases} 1, C_v \leq C_v^* \\ 0, C_v > C_v^* \end{cases}$$

Q, Q_c^* — текущая и заданная производительность сушильной установки, K_v^* — экспертные оценки, учитывающие степень ущерба от соответствующих выбросов загрязнителя (задается), т.е. требуется стабилизация заданной влажности W концентрата и максимизация КПД η и Q_c при ограничениях на выбросы $\{C_v\}$.

Т р а д и ц и о н н о е у п р а в л е н и е. При функционировании предлагаемой системы управления в случае превышения заданной концентрации (потерь) по любому компоненту локальной системой управления выполняется оптимизация режима с целью минимизации указанной концентрации, а при исчерпывании такой возможности единственным возможным путём снижения концентрации вредных выбросов является уменьшение нагрузки на фабрику.

Это объясняется тем, что в силу непрерывности процессов и отсутствия демпфирующих ёмкостей производительность сушильного отделения примерно пропорциональна производительности фабрики. Таким образом:

$$Q = \begin{cases} Q, & C_v \leq C_v^*, \\ (1 - \alpha_v)Q, & C_v > C_v^*, \end{cases} \quad v = \overline{1,4}, \quad (7.20)$$

где $\alpha_v, 0 < \alpha_v \leq 1$ — коэффициент, идентифицируемый подсистемой экологического мониторинга по наблюдениям;

Q — производительность углеобогащительной фабрики.

Задачей верхнего уровня управления является формирование управляющих воздействий на подсистемы нижнего уровня, в частности, для подсистемы управления сушкой управляющее воздействие представляет собой вектор заданий:

$$U_1 = \{Q^*, A_{k\Sigma}^{d*}, \gamma_n^*, W^*\}, \quad (7.21)$$

где $Q^*, A_{k\Sigma}^{d*}, \gamma_n^*, W^*$ — заданная общая нагрузка, зольность, потери и влажность.

Вектор управления для подсистемы экологического мониторинга определяется в виде:

$$U_2 = \{C^*, \gamma_n^*, \beta^*\}, \quad (7.22)$$

где C^* и β^* — заданный вектор концентраций и содержание твердого.

Минимизация вредных выбросов сушильными установками решается локальной системой оптимизации КПД сушильной установки за счёт предотвращения механического и химического недожогов, поддержания оптимальной температуры сушильного агента, эффективности пылеулавливающих устройств и регулирования нагрузки по исходному углю.

Важным способом снижения удельных выбросов пыли и газов сушильных установок является снижение угля, поступающего на сушку, и влажности обезвоженного флотоконцентрата, что достигается системой автоматического управления фильтрами.

У п р а в л е н и е п р и н е ч е т к о й и н ф о р м а ц и и. При создании интегрированных интеллектуальных систем экологического мониторинга, управления и принятия решений в углеобогащительной технологии одной из центральных проблем является учет нечеткой информационной обстановки и синтез в рамках АСУ ТП ОФ локальных нечетких адаптивных и интеллектуальных

регуляторов для отдельных процессов и нечеткой базы знаний, используя методы теории нечетких множеств [6, 7, 13, 14, 18].

Отметим, что одной из главных задач в традиционном подходе проектирования САУ ТП ОФ считается математическое моделирование (идентификация) ТП как источников загрязнения. Однако анализ этих процессов показал, что возникает ряд существенных трудностей при построении систем управления ими. Во-первых, возникает необходимость сочетания технологических, экологических и экономических параметров, моделей и критериев. Во-вторых, ТП углеобогащения характеризуются большим числом управляющих и возмущающих параметров, нелинейностью, а зависимость характеристик выбросов сушильных агрегатов и котельных (угольная пыль, оксиды углерода, азота, серы) и выбросов угольной пыли аспирационных установок дозирочно-аккумулируемых бункеров, главного обогатительного корпуса, дробильного отделения, отделения погрузки продуктов обогащения и др., которые и подлежат экологическому мониторингу, от количества и качества сырья, характеристик обогатительных аппаратов и технологической схемы ОФ, количества и качества продуктов на выходе, трудноформализуемы или адекватно неформализуемы. Попытки использования при этом стохастического подхода не всегда успешны из-за отсутствия соответствующих вероятностных характеристик шумов и возмущающих воздействий на ТП, т.к. большая часть имеющейся информации о ТП — это знания, опыт и интуиция технологов (экспертов), которая может быть формализована только путем лингвистического моделирования [13, 20, 21, 208].

Поэтому целесообразное управление можно синтезировать на основе комбинации формализованного и нечеткого подходов, т.е. на путях интеграции и интеллектуализации процессов управления. В данной работе для решения поставленных задач предлагается система интеллектуального управления в виде гибридного нечеткого регулятора, включающего как технологию стохастической обработки (фильтрация, прогнозирование и др.), так и нечеткой экспертной системы с нечеткой базой знаний (НБЗ) и адаптором (рис 3.12).

В качестве примера рассмотрим процесс сушки угольного концентрата. В подавляющем большинстве случаев сушильные установки (СУ) управляют вручную, за исключением автоматической стабилизации степени разрежения в топке, осуществляемой с помощью простейшего регулятора. Имеются отдельные СУ, в которых автоматизированы отдельные функции, обеспечивающие стабилизацию температурного режима, подачи топлива, нагрузки на процесс по сырому углю и др. [206, 207, 209]. Указанные параметры коррелированы с основным показателем работы сушильных установок — влажностью высушенного угля.

При разработке системы управления сушильной установкой следует учитывать ряд особенностей процесса сушки, а также экологические ограничения на загрязнение окружающей среды. Такая задача может быть решена с использованием адаптивной системы управления, основанной на НБЗ.

Поскольку между режимными параметрами и влажностью высушенного угля имеет место как вероятностная, так и лингвистическая связь, особенно с

экологическими параметрами, использование гибридных (и вероятностных, и нечетких) алгоритмов обеспечивает более высокую эффективность.

Исходной информацией для формирования управляющего воздействия служат фактическая влажность высушенного угля и концентрация вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу. При этом могут встречаться ситуации, когда для устранения отклонения приходится выбирать управляющее воздействие из альтернативных вариантов. Например, для изменения влажности можно изменить температуру сушильного агента или нагрузку по исходному углю; для снижения содержания пыли можно уменьшить температуру сушильного агента, снизить нагрузку по сырому углю, снизить механический недожог и др.

Экологическую модель процесса управления сушильной установкой в общем виде можно представить следующим образом:

$$W(t) = f_1(Q, T_{\dot{K}}, W_u, p, d, a_1), \quad (7.23)$$

$$T_a(t) = f_2(Q_T, q_{\%}, \lambda_0, d_T, a_2), \quad (7.24)$$

$$C(t, x) = \Psi(Q, Q_T, T_a, T_{TM}, T_{\dot{K}}, h, p, d_T, \xi, x, t), \quad (7.25)$$

где $C = (C_1, \dots, C_4)$; $\Psi = (\Psi_1, \dots, \Psi_4)$; $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_4)$,

$$C_1 = \Psi_1(Q, T_a, T_{TM}, T_{\dot{K}}, p, \xi_1, x, t),$$

$$C_2 = \Psi_2(Q, T_a, \xi_2, x, t),$$

$$C_3 = \Psi_3(Q_T, d_T, h, \xi_3, x, t),$$

$$C_4 = \Psi_4(Q_T, \xi_4, x, t),$$

(7.26)

x — вектор координат точки загрязнения в зоне ОФ; t — момент времени наблюдения; W_u — влажность исходного угля; $T_a, T_{TM}, T_{\dot{K}}$ — температура сушильного агента, факела и золы соответственно; λ_0 — теплотворная способность топлива; d, d_T — гранулометрический состав сырого угля и топлива; h — высота слоя топлива; ξ — вектор возмущающих воздействий на СУ; $a = (a_1, a_2)$ — вектор неизвестных параметров, подлежащих идентификации.

Каналы измерений в подсистеме мониторинга можно представить в традиционном виде, т.е.:

$$y(t, x) = H(z, x, t) + \chi, z = (W, T_a, C), \quad (7.27)$$

где χ - вектор погрешностей измерений.

Таким образом, учитывая (7.19)-(7.24) и (7.27), поставленная задача частично сводится к оценке вектора управляющих воздействий на основе динамических моделей в пространстве состояний [15, 16, 127, 210], соответствующих (7.23), (7.24). А зависимости (7.25) и (7.27) трудноформализуемы, и для них целесообразно применение нечеткого моделирования и управления в комплексе (рис. 7.17). Следовательно, полное решение данной проблемы можно достигнуть на путях сочетания традиционного и нечеткого подходов, т.е. интеграцией и интеллектуализацией решений.

В данном случае в качестве неформализованного описания используется нечеткая продукционная модель [6, 7, 12, 18], что наиболее эффективно для адекватного описания знаний и опыта оператора (технолога-эксперта).

Общий формат нечеткой продукционной модели процесса управления имеет вид:

$$N : R : \text{IF } v_1 = LP_1 \wedge v_2 = LP_2 \wedge \dots \wedge v_v = LP_p \text{ THEN } u_j = LP_j$$

или ЕСЛИ v_1 есть \tilde{V}_{1k} И ЕСЛИ v_2 есть \tilde{V}_{2k} И ...

ЕСЛИ v_p есть \tilde{V}_{pk} ТО u_j есть \tilde{U}_{jk} ,

где N и R — номер и идентификатор правила; LP_1, LP_2, \dots — соответствующие лингвистические переменные с заданными функциями принадлежности (ФП); \tilde{V}_{pk} и \tilde{U}_{jk} — соответствующие нечеткие множества, т.е.

$\tilde{V}_{pk} = \langle v_p | \mu_{\tilde{V}_{pk}}(v_p) \rangle, \tilde{U}_{jk} = \langle u_j | \mu_{\tilde{U}_{jk}}(u_j) \rangle, j = \overline{1, m}; k = \overline{1, N_0}$ — число продукций.

Рассмотрим теперь фрагмент НБЗ для управления сушильной установкой. Разобьем возможный диапазон изменения влажности W [W_{\min}, W_{\max}] на поддиапазоны [W_{\min}, W_1], [W_1, W_2], ... [W_n, W_{\max}] (n — количество поддиапазонов). Тогда в зависимости от того, в какой поддиапазон попало текущее значение влажности, выбирается величина управляющего воздействия из диапазона управляющего воздействия, представленного в общем случае в виде пересекающихся поддиапазонов. Другие параметры также можно представить таким же количеством поддиапазонов.

Таким образом, каждое правило есть запись вида:

$$\text{ЕСЛИ } W \in [W_1, W_2] \text{ И } (Q(n) \leq Q_{\max}, T(n) \geq T_{\min}, C_v \leq C_v^*,$$

$$v = (1,4) \text{ ТО } Q(n) \text{ увеличить ЗБ ИЛИ } T(n) \text{ уменьшить ЗБ}$$

где $Q(n)$ и Q_{\max} — текущая и максимальная нагрузка; $T(n)$ и T_{\min} — текущая и максимальная температура; $C_v = C_v(n)$ и C_v^* — текущая и заданная концентрация соответствующих вредных выбросов сушильной установки; n — такт времени.

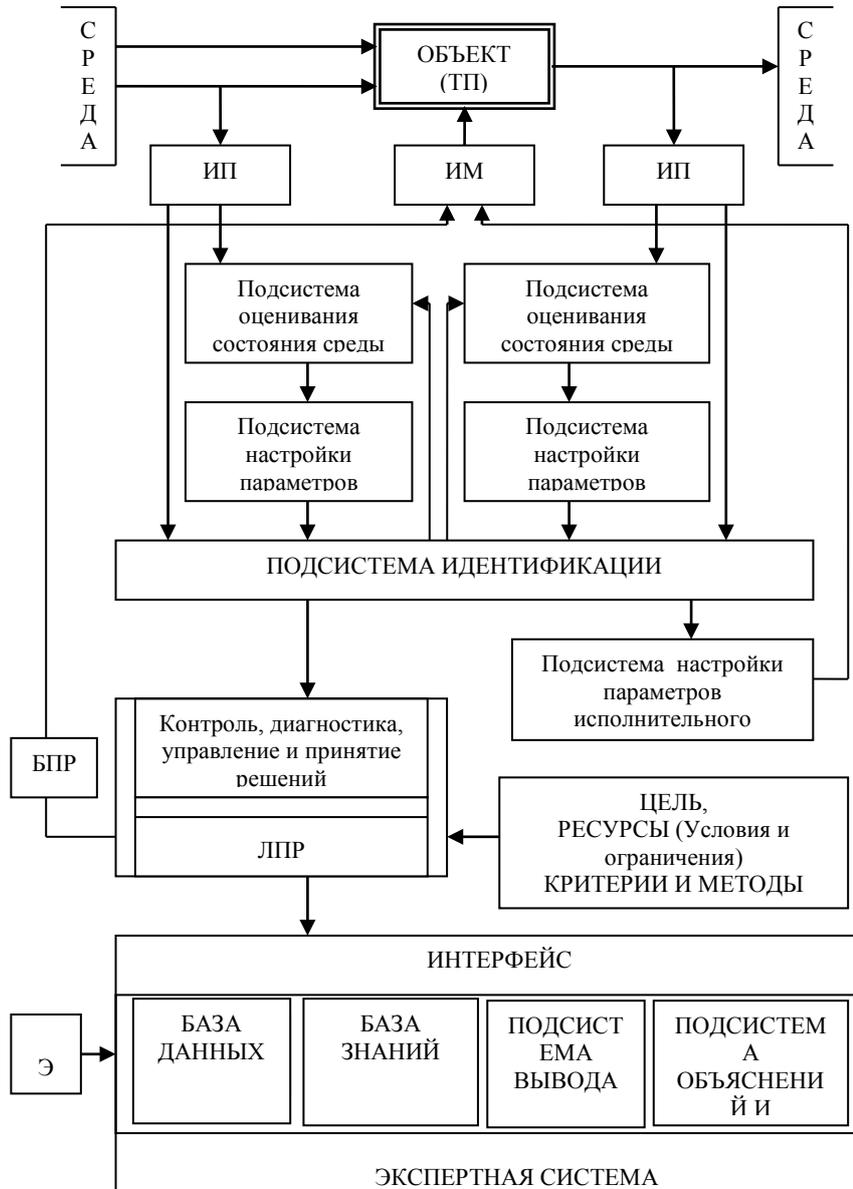
Для формирования НБЗ использованы следующие термы: НМ ("Немного"), Б ("Больше"), ЗБ ("Значительно больше"), НБ ("Намного больше"), ОНМ ("Очень на много") и др. и экспоненциальные ФП [18].

Отметим также, что в случае решения задачи управления объектами углеобогатительной технологии в нечетких (или смешанных) условиях цели и ограничений можно воспользоваться принципом слияния Беллмана-Заде [13, 24, 36, 37, 214] и усреднением ФП. Например, пусть $F: U \times W \rightarrow X$, где X — пространство состояния (параметров ТП ОФ), U — множество альтернатив (управления), W — множество возмущающих воздействий, а также положим, что нечеткая цель $\Omega \subset X$ и нечеткое ограничение $d \subset U$ описываются как нечеткие множества со своими ФП $\mu_{\Omega}(F(u, w))$ и $\mu_d(u)$ соответственно. Тогда нечеткое решение можно определить следующим образом:

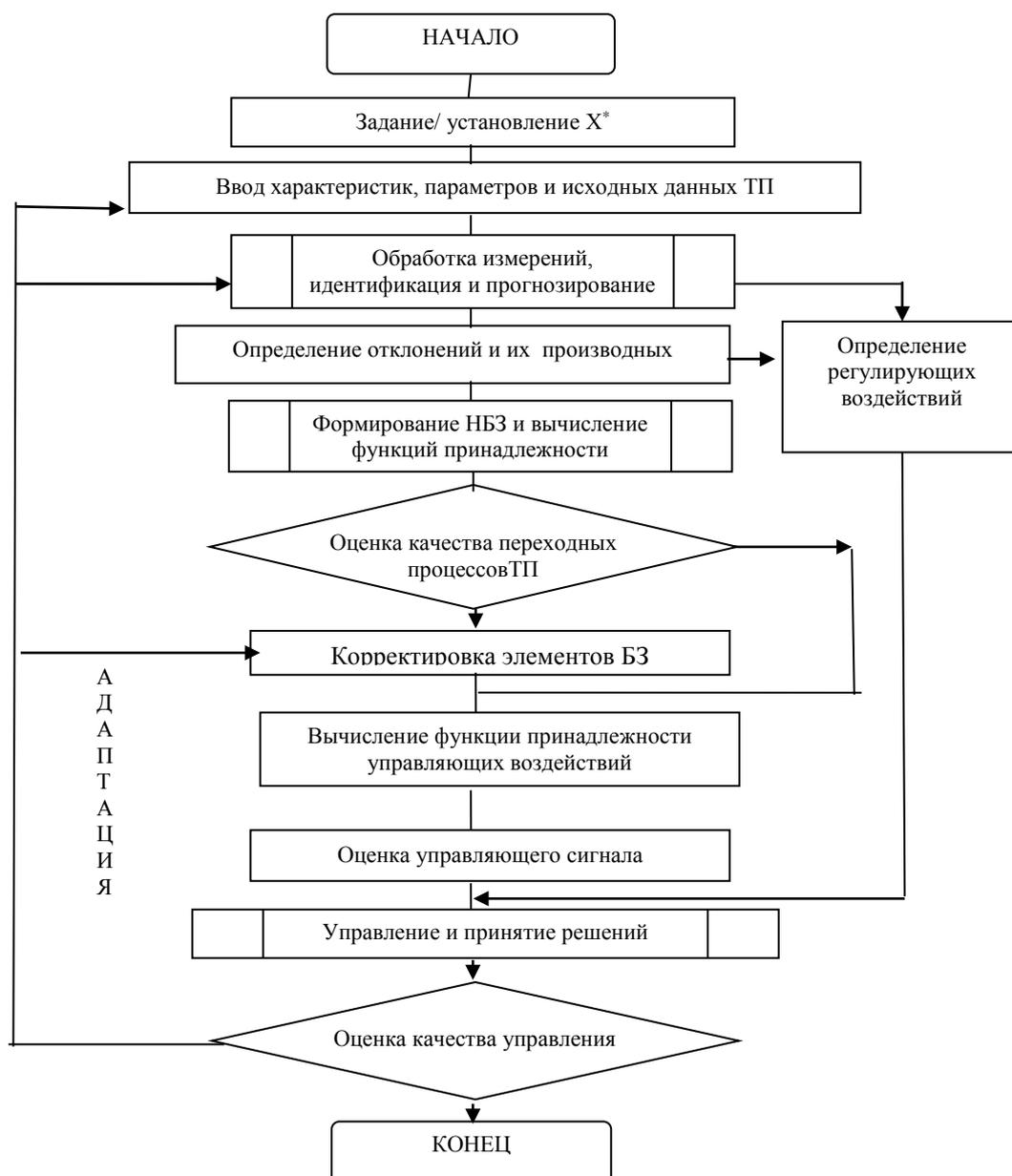
$$\tilde{u} = \underset{u \in U}{\operatorname{argsup}} E_w \{ \mu_D(u, w) \},$$

где $\mu_D(u, w) = \mu_{\Omega}(F(u, w)) * \mu_d(u)$, $*$ — символ слияния (композиции), например, операция \min ; E — символ математического ожидания.

Подобные выражения можно получить и в случае нечеткого отображения \tilde{F} , когда задана ФП для \tilde{F} , т.е. $\mu_{\tilde{F}}: U \times W \rightarrow [0,1]$ [7, 13, 26].



7.17. Структурная схема системы идентификации, диагностирования, управления и принятия решений.



7.18. Алгоритм функционирования гибридного регулятора.

Алгоритм функционирования и реализации предложенных регуляторов представлен на рис. 7.18.

Выводы по разделу 7

1. Проведен системный анализ ОФ и получена ее обобщенная информационно-математическая модель в виде кортежа из пяти объектов: множества технологий, экологических и экономических параметров, методов управления и принятия решений и информационной базы.

2. Получены экологические модели технологических схем и процессов ОФ с учетом экологических параметров, на основе которых разработана компьютерная система эвристического технологического выбора варианта схемы. Разработано также программное обеспечение по сырьевой и товарной базе данных, обеспечивающее выбор оптимального режима обогащения и реализации. Сравнение

фактических и полученных расчетных данных показало адекватность математических моделей ТС и реальных процессов.

3. Разработан метод моделирования динамики ТП на основе интегрального оператора и в условиях стохастичности параметров, предложен простой и оригинальный подход выбора начального приближения при нелинейной аппроксимации (оптимизации), основанный на двойном квадратичном разложении в окрестности среднего наблюдения, разработан программный пакет по реализации данного метода и получен достаточно простой и удобный метод решения интегральных уравнений Фредгольма I — рода, который является основой решения многих научно-инженерных задач. Результаты моделирования проверены с помощью компьютерного эксперимента на основе реальных данных.

4. Проведен анализ проблемы управления процессом сушки как наиболее экологически неблагоприятного на ОФ, показана неудовлетворительность существующих подходов, разработаны модели эколого-экономического управления им в условиях нечеткой информации с использованием разработанного в работе гибридного регулятора.

РАЗДЕЛ 8

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

В данном разделе диссертации представлена реализация некоторых основных подсистем ИАСУ ОФ для СЭЭМУ [16, 17, 23, 24, 60-124, 183, 189, 217-229, 286-288], которые нашли реальное промышленное применение при проектировании, создании и внедрении ИАСУ в институте “НИПИУглеавтоматизации”, на углеобогатительных фабриках Луганской области, на ОАО «Алчевский металлургический комбинат», ОАО ХК «Лугансктепловоз», ГП «Уголь Украины», ГП «Свердловантрацит», Министерство охраны окружающей природной среды Украины (см. Приложения А-К данной работы).

Автоматизированные рабочие места в системе типа "X" для ПТК. Как было показано в третьей главе данной работы, создание интегрированной системы автоматизации управления ОФ в условиях СЭЭМ требует организации информационно-вычислительной сети АРМ, перечень, основные характеристики и функции которых приведены в табл. 3.1.

Процессы управления и принятия эколого-экономических решений на практике осуществляется в условиях различной степени информационной неопределенности (см. рис. 3.2).

Поэтому общую структуру типового АРМ ОФ в СЭЭМ можно представить в следующем виде (рис. 8.1).

Разработано программное обеспечение основных АРМ для ОФ в сетевом варианте с учетом указанных типовых блоков, а именно: Автоматизированное рабочее место инженера-эколога ОФ (АРМ И-Э ОФ), Пакет ПО АРМа маркетинговых исследований на ОФ, а также ПО следующих АРМов ОФ для системы "X": АРМ бухгалтерской службы, АРМ планово-экономической службы ("АРМ-П"), АРМ механической службы, АРМ энергетической службы, АРМ "Кадры" и др. Разработан также «Пакет компьютерного моделирования и планирования ТС, сырьевой и товарной баз данных ОФ для СЭЭМ».

Экспертно-советующая система управления ТП с нечеткой базой знаний. Данная экспертная система управления предназначена для управления процессом сушки, а также для других ТП ОФ. Система позволяет принимать эффективные управленческие решения в условиях размытой информационной обстановки, характерной для процесса сушки, и с учетом экологических параметров, что позволит увеличить стабильность конечной влажности продуктов обогащения, повысить эффективность протекания технологического процесса и работы оборудования и повышение экономической эффективности процесса в целом. После запуска система переходит в диалоговый режим и готова к использованию. Рассмотрим средства, обеспечивающие взаимодействие пользователя с рассматриваемой системой. Так как система является советующей, то она должна в основном работать с пользователем. При этом предполагается, что пользователь, являясь специалистом в своей области, может быть незнаком с методами представления знаний в системах искусственного интеллекта.

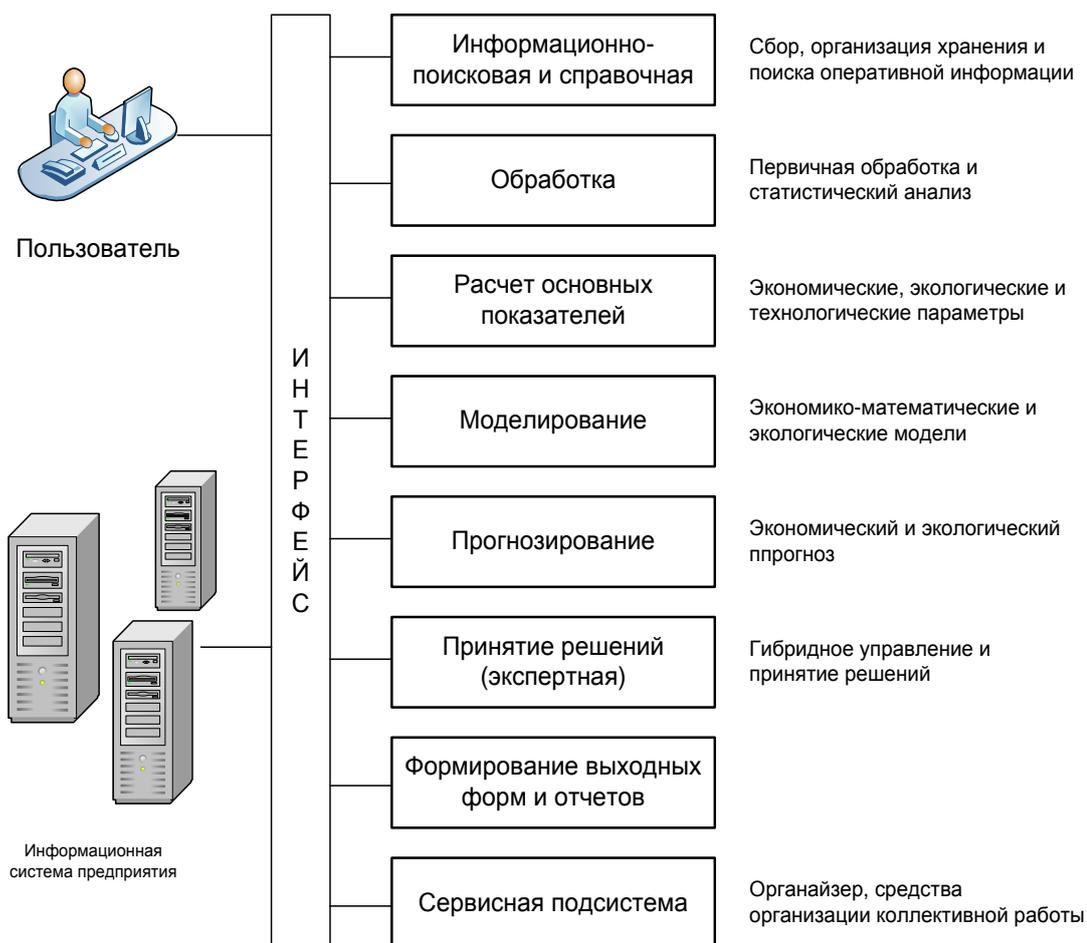


Рис. 8.1. Типовая структура АРМ для интегрированной системы ЭЭМУ ОФ.

Это предположение накладывает определенные ограничения на организацию процедур общения с пользователем. Главное из них: пользователь должен иметь возможность передавать свои знания комфортно, например, просто размышляя о возможных решениях или правилах поведения в заданной предметной области в зависимости от складывающейся ситуации. Желательно также, чтобы диалог между пользователем и советующей системой проходил на языке, приближенном к естественному языку.

Посредством интерфейса происходит общение пользователя с базой знаний: пользователь может взять информацию, как из базы знаний, так и пополнить ее новой информацией. Поэтому прежде чем описывать интерфейс, перечислим основные элементы базы знаний. Итак, база знаний содержит следующую информацию: характеристики признаков и лингвистических переменных; характеристики управляющих решений; зависимости между решениями; ограничения на применение управляющих решений; описание некоторых параметров системы.

Характеристики признаков и лингвистических переменных содержат наименование признака или лингвистической переменной, множество, на котором они определены, термы, входящие в терм-множество признака или переменной, а также описание этих термов как нечетких значений переменной (наименование и область определения). Управляющее решение рассматривается как лингвистическая переменная, поэтому здесь содержится информация, описанная выше. Но кроме

этого, здесь хранится информация о степени воздействия того или иного решения на признаки.

Зависимости между решениями содержат информацию о том, как применение одного решения влияет на необходимость применения другого. Ограничения на применение управляющих решений позволяют применить их в сложившейся ситуации, т.е. эта информация предназначена для предотвращения аварийных состояний.

Система функционирует в двух основных режимах: режим экспертного опроса; режим формирования управляющих решений.

В режиме экспертного опроса в диалоге с пользователем выявляются все особенности объекта управления и ограничения на принимаемые решения, необходимые для создания нечеткой ситуационной модели управления объектом. В этом режиме работы активным является только блок экспертного опроса, получающий и перерабатывающий информацию для всех остальных блоков системы. При необходимости все вопросы поясняются пользователю.

Ввод новой информации должен осуществляться в определенном порядке. Вначале вводится информация о признаках и лингвистических переменных. Работа с конкретным признаком объекта управления начинается с ввода его названия. Затем задаются границы интервала изменения признака, названия термов соответствующей лингвистической переменной. Интервал изменения признака используется блоком экспертного опроса для формирования базовой шкалы значений этого признака, на которой строятся функции принадлежности нечетких переменных, соответствующих введенным термам. Для непосвященного в теоретические вопросы пользователя построение функции принадлежности может вызвать некоторые (если не большие) затруднения. Поэтому в данной системе предлагается визуализировать процедуру построения функции принадлежности. Для обеспечения этого в системе используется следующая процедура построения функции принадлежности.

После описания термина у нас имеется название термина и его базовое множество (интервал значений). Для построения функции принадлежности разбиваем этот интервал на несколько частей (предположим, на 10), и на каждом участке задаем степень его принадлежности всему интервалу, причем для задания этой степени нет необходимости вводить какие-либо численные значения, а всего лишь изменить положение "бегунка" на полосе прокрутки.

После выполнения этой процедуры у нас получится представление функции принадлежности. Для определения промежуточных значений функции принадлежности выполняется кусочно-линейная аппроксимация. Далее система определяет корректность полученной функции принадлежности, и если это имеет место, сообщает пользователю о некорректности функции принадлежности. После построения функций принадлежности, описывающих значения признаков, блок экспертного опроса переходит в режим получения информации об управляющих решениях по признаку. Пользователем вводятся названия управляющих решений по признаку, степени их предпочтения и силу их воздействия на признаки. Предполагается, что степени предпочтения управляющих решений по признакам постоянны и не зависят от ситуации, в которой они принимаются. Сила воздействия

управляющих решений на признак описывается матрицами, показывающими, как изменяется значение признака после применения управляющего решения. Аналогично описанию термов из терм-множества для признака в базу знаний вводится описание термов терм-множества для управляющего решения.

После получения информации по всем признакам, соответствующим лингвистическим переменным и значениям управляющих решений по признакам, блок экспертного опроса переходит в режим ввода информации о зависимостях между управляющими решениями по признакам. Пользователю предлагается определить управляющие решения, порождаемые каждым из управляющих решений, введенных им на предыдущем этапе экспертного опроса. На основании полученной информации формируется граф порождения управляющих решений и строятся k-локальные управляющие решения.

Далее блок экспертного опроса переходит в режим ввода ограничений на применение управляющих решений. В этом режиме пользователь должен определить ситуации, в которых применение каждого из заданных на предыдущих этапах управляющих решений запрещено. Запрещение на применение управляющего решения в некоторой ситуации может следовать, например, из возможности попадания в аварийную ситуацию при применении этого решения.

После проведения экспертного опроса система готова к использованию в качестве советующей (степень готовности соответствует качеству введенной информации на этапе наполнения базы знаний).

В режиме формирования управляющих решений работа системы так же как и в режиме экспертного опроса, происходит в диалоге с пользователем. Вначале пользователю системы предоставляется возможность ввести описание текущего состояния объекта управления. Для этого необходимо ввести значения признаков, выделенных на этапе экспертного опроса. При необходимости пользователь может получить пояснения. Значения признаков могут быть описаны тремя способами: количественно (например, 123.56); вербально (например, "мало", "много"); нечетко (например, <0.9/"малая">, <0.5/"средняя">, <0.1/"большая">). После получения информации о значениях всех признаков объекта блоком оценки состояния формируется описание входной ситуации в виде одного или нескольких нечетких множеств второго уровня на множестве признаков, в зависимости от определенности введенной информации и результатов ее идентификации при помощи абсолютных шкал значений признаков.

Поиск стратегии управления в текущей ситуации возлагается на блок принятия решений, который первым делом просматривает соответствие "ситуация - цель" для определения целевой ситуации, в которую нужно перевести объект управления из текущей ситуации. Если текущая ситуация отсутствует в данном соответствии, то делается вывод о неконфликтности последней и выдается сообщение "Управляемый объект в пределах нормы". В противном случае блоком принятия решений осуществляется поиск стратегии управления по переводу объекта управления из текущей ситуации в целевую, для чего динамически порождается ситуационная сеть. При необходимости пользователь может перевести систему в режим объяснения. В этом режиме можно получить информацию по каждому этапу принятия решения, начиная оценкой состояния и заканчивая выдачей решения.

Программное обеспечение автоматизации подсистемы "Транспорт"
 «Программный комплекс моделирования и диспетчерского планирования (АРМ «Диспетчер транспорта ОФ»)» предназначен для работы в автоматизированной системе управления углеобогатительной фабрикой. Разработанное ПО моделирует работу транспортного узла ОФ, вычисляет параметры вероятностных распределений входных потоков вагонов, ведет учет поступившего сырья, текущего состояния транспортной системы, отгруженной продукции, выдает рекомендации по улучшению работы узла.

Комплекс программ содержит программы обработки данных о входных потоках, моделирования работы с базами данных, описывающих состояние системы, помощь для работы ПО. Входными параметрами являются данные по архитектуре транспортного узла, объему подъездных путей, складов, производительности погрузочно-разгрузочных работ и производства. Выходными результатами служат стационарные характеристики на различных стадиях транспортной обработки, базы данных по поступлению сырья по различным шахтогруппам, по отгрузке различных видов продукции.

Программный комплекс имеет удобный интерфейс с системой меню и окон для управления программой, ввода параметров и просмотра результатов. Программа имитационного моделирования и обработки входных потоков выполнена на языке Turbo Pascal 8.0, работа с базами данных и интерфейс — в системе FoxPro.

Некоторые результаты компьютерного моделирования работы транспортного узла ЦОФ «Самсоновская» и «Суходольская» приведены в приложении .

Программа «АРМ диспетчера» предназначена для автоматизации работы диспетчера транспортного узла ОФ. *Возможности системы:* автоматизированный учет подвижного состава ОФ: ведение баз данных, содержащих информацию о вагонах, складах сырья и складах готовой продукции (концентрат), находящихся в зоне действия ОФ; возможность прогноза состояния ОФ на любой реальный срок (до 3 лет). Максимальная надежность прогнозирования достигается при сроке 1 год. 3. Возможность изменения параметров имитационной модели ОФ и сравнения результатов на выходе.

Информационно-поисковая и справочная система подсистемы "ТРАНСПОРТ" ОФ. Представляемая информационно-поисковая система (ИП и СС) предназначена для автоматизации учета, планирования и формирования документов по погрузке и разгрузке вагонов с углем и готовой продукцией. Система позволяет автоматизировать следующие функции: работа с транспортными накладными: по поступлению; по отгрузке; ввод накладных и хранение их в базе данных на жестком диске. При вводе накладных автоматизирован ввод зависимых полей. Поставщики или потребители, оформленные в накладной, автоматически заносятся в соответствующую базу данных информации о поставщиках и потребителях. *Учет простоя вагонов:* ввод ежедневной ведомости безномерного учета простоя вагонов на подъездных путях; выдача ежемесячных отчетов в плановый отдел и оператору погрузки. При вводе ежедневной ведомости учета простоя вагонов итоги дня, такие как "погрузка-задано", "погрузка-выполнено", "выгрузка-задано", "выгрузка-выполнено", а также общие итоги, вычисляются автоматически.

Ежемесячные отчеты по простоя вагонов в плановый отдел формируются в любой момент по желанию пользователя за любой прошедший или текущий месяц. Статистический анализ процессов погрузки-разгрузки вагонов за месяц и квартал, а также простоя вагонов, позволяющей анализировать и прогнозировать загрузку транспортной подсистемы предприятия. Предоставление справок (информации) о поставщиках и потребителях предприятия. Предоставление сводок по углю и по концентрату как по отдельной шахте или получателю, так и по всем, с которыми предприятие сотрудничало в учетный период. Выдача отчетов по получению угля и по отгрузке концентрата за месяц, квартал или год. Выдача отчетов по получению угля или отгрузке концентрата по шахте или поставщику на определенную дату.

Итак, разработана экспертная система управления ТП с нечеткой базой знаний для ОФ, основанной на предложенной ранее методике создания ЭС с генерацией дискретной функции принадлежности и формирования нечеткой продукционной базы знаний по всем возможным технологическим ситуациям. Предложен типовой вариант структуры и интерфейса интеллектуального АРМ, на базе которого созданы программные оболочки решающих АРМ ИАСУ ОФ, функционирующих в СЭЭМ, а именно: инженера-эколога, маркетинговых исследований, планово-экономической и бухгалтерской служб, директора и гл. инженера, механика, энергетика, АРМ “Кадры” и др. служб и специалистов. Для синтеза (выбора) программно - аппаратных средств создаваемой локальной информационной сети АРМ ИАСУ ОФ разработана экспертно - советующая система, которая функционирует по принципу многовариантного менюориентированного выбора и применима также для других промышленных предприятий и фирм. В рамках разработанной концепции предложено программно - математическое обеспечение интеллектуальной системы контроля и диагностирования состояния оборудования обогатительной технологии и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация посвящена решению важных на сегодня теоретических и практических задач, связанных с исследованием сложных эколого-экономических систем, разработкой теоретических и методологических основ проектирования и внедрения интегрированных автоматизированных систем эколого-экономического моделирования, управления и принятия решений с элементами интеллектуальности в условиях нестабильности, неопределенности и рисков.

Очевидно, что нынешний уровень развития экономики Украины и ее способности воспринимать новые научно-технические решения не позволяет в достаточной мере реализовать на практике и оценить адекватность всех предложенных в работе теоретических положений, концепций, методов и моделей.

Тем не менее, полученные автором результаты позволяют утверждать о целесообразности и перспективности рассмотренных теоретических вопросов о практической ценности разработанных систем управления эколого-экономическими системами, которые будут только возрастать по мере продвижения Украины по стабильно цивилизованному пути экономического и социального развития.

Подводя итог данного исследования, можно отметить ряд принципиально новых результатов, полученных автором. Это, прежде всего, что касается теоретических разработок:

— показано, что для создания интегрированной АСУ обогатительной фабрики целесообразно рассматривать ее как составную часть логистической системы, содержащей автоматизированную систему организационно-экономического и экологического управления с подсистемами менеджмента и экологического мониторинга, подсистему оперативно-диспетчерского управления, а также систему управления производственно-транспортным комплексом. Поэтому предложена трехуровневая декомпозированная структура управления ОФ для создания локальной СЭМ и определены направления процессов интеграции и интеллектуализации управления на основе компьютерных сетей и экспертных систем с различной базой знаний;

— используя результаты системного анализа ПС на примере ОФ, разработана обобщенная информационно-математическая модель в виде кортежа из пяти объектов: множества технологий, экологических и экономических параметров, методов управления и принятия решений и информационной базы. Получены экологические модели технологических схем и процессов ОФ с учетом экологических параметров, на основе которых разработана компьютерная система эвристического выбора варианта технологической схемы;

— разработано также программное обеспечение по сырьевой и товарной базе данных, обеспечивающее выбор оптимального режима обогащения и реализации. Приведено сравнение фактических (для ЦОФ "Комендантская") и расчетных результатов, показаны: адекватность и экономическая эффективность компьютерного моделирования, ТС и реальных процессов. Разработанные программные комплексы по сырьевой и товарной базам данных обеспечивают расчеты оптимальных условий исполнений технико-экономических процессов в

цепи: «сырье — производство — реализация» при многопродуктивной технологически вариабельной ЦОФ «Комендантское»;

— на основе интегрального оператора и в условиях стохастичности параметров разработать метод моделирования технологического процесса производства. При этом предложен простой и оригинальный подход к выбору начального приближения при нелинейной оптимизации и метод решения интегральных уравнения Фредгольма I-рода. Заметим, что компьютерный эксперимент подтвердил простоту и высокую точность предложенного метода и что он применим и для решения других неустойчивых (некорректных) практических задач ЭЭМУ.

— разработана экспертно – советующая система управления ТП с нечеткой базой знаний как блок принятия решений в АРМах ОФ, по предложенной ранее методике создания экспертных систем с диалоговой генерацией дискретной функции принадлежности и формирования нечеткой продукционной базы знаний по всем возможным технологическим ситуациям. Проведен анализ проблемы управления процессом сушки – как наиболее экологически неблагоприятного на ОФ, показана неудовлетворительность существующих подходов, разработаны модели и алгоритм эколого-экономического управления им в условиях нечеткой информации;

— предложен типовой вариант структуры и интерфейса интеллектуального АРМ, на базе которого созданы программные оболочки решающих АРМ в ИАСУ ОФ для создания СЭЭМ, а именно: инженера-эколога, маркетинговых исследований, планово-экономической и бухгалтерской служб, директора и гл. инженера, механика, энергетика, АРМ "Кадры" и др. служб и специалистов;

— разработаны требования и функции локальной компьютерной сети АРМ, на основании которых предложена ее обобщенная функционально-информационная структура, позволяющая создать интегрированную АСОЭ и ЭУ. Для синтеза (выбора) программно - аппаратных средств создаваемой локальной информационной сети АРМов ИАСУ ОФ разработана экспертно - советующая система, которая функционирует по принципу многовариантного меню ориентированного выбора и применима также для других промышленных предприятий и фирм.

Из практических результатов работы можно отметить прежде всего уже упоминавшаяся реализованная компьютерная система планирования и управления на ЦОФ «Комендантская» которая обеспечивает эффективную работу предприятия с учетом вариабельности технологии, экологических и экономических факторов.

В условиях ЦОФ «Луганская» показано, что предложенный общесистемный критерий достаточно полно отражает зависимость эффективности работы предприятия от условий, связанных с обогатимостью угля и объемами выбросов загрязняющих веществ в ОПС.

Для транспортного комплекса ОФ разработана компьютеризированная система, обеспечивающая функции оперативного планирования и управления внешним транспортным узлом с учетом вопросов прогнозирования и учета с необходимым для реальной работы документооборотом.

Автором обоснована и решена задача компьютерного моделирования и прогнозирования атмосферных процессов в зоне ОФ в условиях стохастической неопределенности.

Кроме того в работе нашли отражение вопросы, связанные с современными направлениями и тенденциями в исследовании сложных эколого-экономических систем, а именно систем, функционирующих в условиях смешанной неопределенности и трудно формализуемой информации о процессах в виде лингвистических и нечетких переменных.

Большое внимание автором уделено исследованию эколого-экономических вопросов устойчивости сложных динамических систем с привлечением современных методов нелинейной динамики.

Безусловно, многие вопросы и проблемы, затронутые в диссертации, требуют дальнейшего исследования, развития и конкретизации. Поэтому автор с благодарностью примет все замечания и предложения, касающиеся как данной работе конкретно, так и идей, развиваемых в данном направлении исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рамазанов С.К. Модели эколого-экономического управления производственной системой в нестабильной внешней среде. Монография. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2004. – 384 с.
2. Рамазанов С.К., Припотень В.Ю. Методы и информационные технологии управления предприятием в условиях нестабильностей. Монография. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2006. – 256 с.
3. Воронкова А.Э., Козаченко А.В., Рамазанов С.К., Хлапенков Л.Е. Современные технологии управления промышленным предприятием. – Монография. – К.: Либра, 2007. – 256 с.
4. Козаченко А.В., Пономарев В.П., Ляшенко А.Н. Экономическая безопасность предприятия: Сущность и механизмы обеспечения. – Монография. – К.: Либра. – 280 с.
5. Рамазанов С.К., Степаненко О.П., Тимашова Л.А. Технології антикризового управління. Монографія. – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2004 – 192 с.
6. Воронкова А.Е., Рамазанов С.К., Родіонов О.В. Моделювання управління конкурентоспроможністю підприємства: еколого-організаційний аспект. Монографія. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2005. – 368 с.
7. Рамазанов С.К. Автоматизация управления производственно-транспортными комплексами в системе экологического мониторинга. Монография.- Луганск: ВУГУ, 1996. - 268 с.
8. Програма дій "Порядок денний на ХХІ століття" / Пер. с англ. : ВГО "Україна. Порядок денний на ХХІ століття". – К.: Інтелсфера, 2000. – 360с.
9. Садеков А.А. Механизмы эколого-экономического управления предприятием. Монография. – Донецк: ДонГУЭТ им. Туган-Барановского, 2002. – 311с.
10. Рамазанов С.К., Ульшин В.А. Интеллектуальная система эколого-экономического управления технологическими процессами углеобогатительных фабрик //Автоматизация и современные технологии.- 1995. - №. - с. 46-53.
11. Информационные технологии в испытаниях сложных объектов: методы и средства/ Скурихин В.И., Квачев В.Г., Валькман Ю.Р., Яковенко Л.П. - Киев: Наук. думка, 1990.- 320 с.
12. Алиев Р.А., Абдикеев Н.Р., Шахназаров М.М. Планирование производства в условиях неопределенности. - М.: Радио и связь, 1990.-286с.
13. Алиев Р.А., Абдикеев Н.Г., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом.- М.: Радио и связь, 1990.- 264с.
14. Автоматизированное проектирование САУ /Я.Я. Алексанкин, А.Э.Бронозовский, В.А.Жданов и др.; Под ред. В.В.Солодовникова. - М.: Машиностроение, 1990.- 232с.
15. Автоматическое проектирование систем управления /Под ред. Джамишди М., Хергета Ч.Дж.- М.: Машиностроение, 1989. - 208с.
16. Ажогин В.В., Згуровский М.З., Корбич Ю, Методы фильтрации и управления стохастическими процессами с распределенными параметрами. - Киев: Вышш. шк., 1987. - 412 с.

17. Болнокин В. Е., Чинаев П.И. Анализ и синтез САУ на ЭВМ: Алгоритмы и программы.- М.: Радио и связь, 1990.- 248с.
18. Борисов А. Н. Модель принятия решений на основе лингвистической переменной. - Рига: Зинатне. -1982. - 256 с.
19. Згуровский М.З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования: Учеб. пособие. - К.: Выща шк., 1990. - 351 с.
20. Искусственный интеллект: Справочник. В 3-х кн. - М.: Наука, 1990.
21. Кунцевич В.М., Лычак М.М. Синтез оптимальных и адаптивных систем управления: Игровой подход. - Киев.: Наук. думка, 1985. - 248с.
22. Куржанский А.Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности. - М.: Наука, 1977.-392с.
23. Неймарк Ю.И., Кочин Н.Я., Савельев В.П. Динамические модели теории управления. - М.: Наука, 1985.-234с.
24. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта /Под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Наука, 1986, -318с.
25. Саридис Дж. Самоорганизующиеся стохастические системы управления.- М.: Наука, 1980. - 400с.
26. Ульянов С.В. Нечеткие модели интеллектуальных систем управления: теоретические и прикладные аспекты (обзор)//Изд. АН СССР. Сер ТК.-1991. - N 3 - с.3-29.
27. Захаров В.Н., Ульянов С.В. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления. ч. I, II, III // Изв. РАН. Техн. кибернетика. - 1992. - №5. - с.171-196; 1993. - №4. - с.189-205; 1993. - №5. - с.197-220.
28. An L., Hueyan J., Quisi X. An intelligent control system for industrial furnace // IECON'90: 16th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc. (Calif., Nove. 27-30, 1990). - N.Y., 1990. - V.1.
29. Porter V. Issues in the design of intelligent control system // Proc. 12th IMACS World Congr. Sci. Comput. (Paris, July 18-22, 1988). Villenere d 'Asg.; 1988. - V.1.
30. Лупина Н.В., Слепченко А.Н., Ульянов С.В. и др. Гибридная ЭС с глубинным представлением знаний для проектирования и диагностики биотехнических изделий // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. - 1990. - №5.
31. Luo A., Lu Y. Expert PID controller and its application // Inf. and contr. - 1992. - V.21. - №3.
32. Алиев Р.А., Захарова Э.К., Ульянов С.В. Нечеткие модели управления динамическими системами // Итоги науки и техники. Сер. ТК. - М.:ВИНИТИ АН СССР. - 1990. - т.29; 1991. - т.32.
33. Efstathion J. Expert system in process control. - Longmon, 1989.
34. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации/ Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344с.
35. Kumpati S. Narendra, Kannan Partahasaraty. Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks // IEEE Trans. Neural Networks, vol. 1, no. 1, Mar. 1990, pp. 4-27.
36. Zudeh L. A. Knowledge representation in fuzzy logic // IEEE Trans. Knowledge and data engineering, 1989. - no. 1, pp. 253-283.

37. Nie Junhong and Linkens D.A. Fuzzy reasoning implemented by Neural Networks// Proc. Int. Joint Conf. On Neural Networks (UCNN92). - Baltimore M.D., 1992.
38. Linkens D.A., Nie Junhong. Back-propagation Neural Networks based fuzzy controller with self learning teacher // Int. J. Control, 1994. - no. 60. - pp. 17-39.
39. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики.- М., 2000. – 336с.
40. Маланин В.В., Полосков И.Е. Случайные процессы в нелинейных динамических системах. – М., 2001. – 160с.
41. Короновский А.А., Трубецков Д.И. Нелинейная динамика в действии. - Саратов: Изд-во ГосУНЦ "Колледж", 2002. – 324с.
42. Основы современных компьютерных технологий: Учебное пособие/Под ред. проф. Хомоненко А.Д. - СПб.: КОРОНА принт, 1998. - 448с.
43. Грицык В.В. Информационные технологии и системы: состояние и перспективы.//Проблемы управления и информатики. – 1997. - № 2. – с. 5-21.
44. Гриценко В.И. и др. Современные подходы к созданию распределенных информационных систем.// Управляющие системы и машины. – 1998. № 3. – с.3-9.
45. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М., 1986.- 238с.
46. Хакен Г. Синергетика /Пер. с англ. М.: Мир, 1985.
47. Згуровский М.З. Стан та перспективи розвитку методології системного аналізу в Україні. //Кибернетика и системный анализ. – 2000. – №1. – с. 101-109.
48. Петерс. Э. Хаос и порядок на рынках капитала. –М.: Мир. 2000. – 333 с.
49. Заде Л. А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер-анализе. - В кн.: Классификация и кластер. - М.: Мир, 1980.- с. 208-247.
50. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. - М.: Радио и связь, 1989. - 348с.
51. Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах. Под ред. К.Т. Леондеса. – М.: Мир, 1980. – 408с.
52. Черноусько Ф.Л. Оценивание фазового состояния динамических систем, Метод эллипсоидов. – М.: Наука, 1988. – 228с.
53. Капица С. П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г. Г. Синергетика и прогнозы будущего. Сер. "Синергетика: от прошлого к будущего". – М.: Наука, 2003. – 288с.
54. Синергетика и проблемы теории управления / Под ред. А. А. Колесникова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 504с.
55. Рамазанов С.К. Нелинейные технологии в социально-экономических и экологических системах//Тезисы докладов VII Всеукраинской научно-методической конференции «Проблемы экономической кибернетики». Запорожье, 2002. – с. 173-175.
56. Автоматизация производства на углеобогатительных фабриках/Л.Г. Мелькумов, В.А.Ульшин, М.А.Бастунский и др. - М.:Недра,1983.-286 с.
57. Кудинов Ю.И. Нечетные системы управления// Изд. АН СССР. - Сер. ТК. - 1990. - N 5. - с.196-206.

58. Рамазанов С.К., Иванов В.Л., Литвинов Е.Н. Автоматизированное проектирования сложных технических и информационных систем: Учеб. пособие. - Луганск: Изд-во ВУГУ, 1996. - 192 с.
59. Рамазанов С.К. Интегрированная интеллектуальная компьютерная система автоматизации проектирования объектов машиностроения: Учеб. пособие. - Луганск: Изд-во ВУГУ, 1996. - 162 с.
60. Рамазанов С.К., Ульшин В.А. Интеллектуальная система эколого-экономического управления технологическими процессами углеобогачительных фабрик//Автоматизация и современные технологии.- 1995. - №9. - с. 10-18.
61. Рамазанов С.К., Семесенко М.П. Идентификация и оценка параметров в сложных динамических системах//Автоматика. - 1979. - №6_ - с. 26-32.
62. Рамазанов С.К., Семесенко М.П. Оптимальная нелинейная фильтрация одного класса случайных процессов//Автоматика.-1980.-№5.- с. 43-49.
63. Рамазанов С.К., Ульшин В.А. Эколого-экономическое управление процессом сушки угля при нечеткой информации// Автоматика.- 1995.- N 2. - с. 108-116.
64. Рамазанов С.К., Семесенко М.П. Выбор параметров прогнозирующей модели в системах управления// Автоматика.-1975.-№4. - с.65-72.
65. Рамазанов С.К., Семесенко М.П. Об одном методе решения нелинейных задач управления// Республ. межведомст. научно-техн. сб. "Констр. и пр-во трансп. машин". - Харьков: ХГУ. - 1980. -№12. - с.62-67.
66. Семесенко М.П., Рамазанов С.К. Численный метод идентификации динамических систем//Там же.- с.67-72.
67. Рамазанов С.К. Идентификация динамики транспортных средств// Сб. "Констр. и пр-во транспорт. машин. -Харьков:ХГУ.1984.- №16. - с.23-29.
68. Рамазанов С.К., Ульшин В.А. Критерий эколого-экономического управления технологическими процессами углеобогащения// Уголь Украины. - 1995. - №7. - с.27-29.
69. Ульшин В.А., Рамазанов С.К., Зубов Д.А. Моделирование управления сложных технологических комплексов на основе нейронных сетей//Вестник Восточноукраинского госуниверситета. Сер. Транспорт. - Луганск: ВУГУ, 1996. - 176-186.
70. Рамазанов С.К., Зайко В.К. Подсистема автоматизации диспетчерского планирования и управления транспортного узла углеобогачительных фабрик//Там же. - с. 218-227.
71. Рамазанов С.К., Ульшин В.А. Интегрированное интеллектуальное управление углеобогачительной фабрикой в системе экологического мониторинга//Автоматизация и современные технологии.- 1997. - №2. - с. 37-46.
72. Рамазанов С.К., Семесенко М.П. Методы оптимальной фильтрации многомерных случайных процессов для мини-ЭВМ.Киев, 1976. - 49 с. - (Препринт/АН УССР; Ин-т кибернетики, № 76-41).
73. Рамазанов С.К. Оценивание и идентификация стохастических мультипликативно-аддитивных смесей в задачах управления//Тезисы докладов III Республиканской конференции "Вычислительная математика в современном НИТ". - Киев, 1982.- с.23-24.

74. Рамазанов С.К., Карпов Б.И., Тисунова Е.Ю. Интегрированная интеллектуальная система проектирования автоматических систем управления //Международная научно-техническая конференция "Актуальные проблемы фундаментальных наук": Сб. докладов. - М.: МГТУ, 1991. - с.58-59.
75. Рамазанов С.К., Ульшин В.А. Концепция создания интегрированной интеллектуальной автоматизированной системы экологического мониторинга, управления и принятия решений в условиях неопределенности для углеобогатительных фабрик//Тезисы докладов Международной научно - практической конференции "Университет и регион". - Луганск, 1994. - с. 186-189.
76. Рамазанов С.К., Ульшин В.А. Эколого-экономическое управление ТП углеобогащения при нечеткой информации// Там же. - с.189-190.
77. Рамазанов С.К. Современные подходы в решении проблем эколого-экономических систем//Там же. - с. 171-172.
78. Рамазанов С.К. Об идентификации динамических объектов в системах АСУ ТП//Материалы Всесоюзной конференция "Состояние, перспективы разработки и применения средств вычислительной техники для управления технологическими процессами и автоматизации научного эксперимента".- М.,1979.- с.54-55.
79. Рамазанов С.К. Оптимальная фильтрация многомерных процессов в САНИ//Там же. - с.56-57.
80. Рамазанов С.К., Рамазанов Р.С. Интегральная модель интеллектуального управления объектами углеобогатительной технологии в системе экологического мониторинга//Материалы 2-й Украинской конференции по автоматическому управлению. - Львов, 1995. - Т.5. - с.77-78.
81. Зайко К.В., Зайко В.К., Рамазанов С.К. Модели прогнозирования состояния атмосферы в зоне промышленного объекта//Тезисы докладов Международной научно–практической конференции “ Университет и регион” . - Луганск: ВУГУ, 1996. - с. 105.
82. Рамазанов С.К. Система интеллектуального управления промышленными объектами в условиях экологического мониторинга региона// Там же. - с. 106-107.
83. Рамазанов С.К., Ульшин В.А. Эколого-экономическая эффективность систем автоматизации управления процессами углеобогащения// Там же. - с. 101.
84. Рамазанов С.К., Ульшин В.А. Экологическое управление производственно-транспортными потоками ОФ//Вестник ВУГУ. Луганск: ВУГУ, 1998.- 1(11). с.
85. Рамазанов С.К., Истомина Л.Ф. Планирование и управление технологией углеобогащения при эколого-экономическом мониторинге//Вестник ВУГУ. Луганск: ВУГУ, 1998.- 1(11). с.
86. Рамазанов С.К., Расрас Р. Интеллектуальная система управления промышленным объектом непрерывного типа. //Вестник ВУГУ. Луганск: ВУГУ, 1998.- 1(11).
87. Рамазанов С.К. Эколого-экономическое моделирование и управление риском катастроф в условиях переходной экономики// Сб. научн. тр. по материалам 1-

- го Всеукр. НПК "Проблемы экономического риска: анализ и управление, Киев: КНЭУ, 1998.
88. Рамазанов С.К. Техногенная безопасность и система эколого-экономического моделирования и управления// Доклады 3-й конференции стран СНГ по экологии химических технологий ("ЭКОЛОГИЯ-98"), Северодонецк, 1998
 89. Рамазанов С.К., Распас Р. A fuzzy-neural system (hybrid) for controlling multivariable industrial object in real time //Вісник Східноукраїнського держ. ун-ту. 1998. - №3(13).-р. 57-62.
 90. Рамазанов С.К. Модели управления производственно-транспортным комплексом в системе эколого-экономического мониторинга.//Вісник СУДУ. - 1998. - №5(15). - с. 101-103.
 91. Рамазанов С.К., Распас Р. Гибридная система интеллектуального управления промышленными объектами// Сб. научн. тр. по материалам 4-й Межд. конференции «Теория и техника передачи, приема, и обработки информации». - Харьков, ХТУРЭ, 1998. – с.64-66.
 92. Рамазанов С.К. Информационно-аналитическая система поддержки маркетинговых решений на промышленном предприятии.// Сб. научных тр. «Модели управления в рыночной экономике». – Донецк: ДонГУ, 1999. – с. 377-378.
 93. Рамазанов С.К. Модели управления производственно-транспортным комплексом в условиях переходной экономики.// Сб. научных тр. «Модели управления в рыночной экономике». – Донецк: ДонГУ, 1999. – с. 378-380.
 94. Рамазанов С.К. Информационные технологии в управлении и принятии решений в системах экономического и экологического мониторинга.// Збірник наук. праць Східноукраїнського держ. університету.- Луганськ: СУДУ, 1999. – с.87.
 95. Рамазанов С.К., Луцкий В.В. Оптимальное управление в системе эколого-экономического мониторинга //Вісник СУДУ. - 1999. – № 6(22). – с. 161-167.
 96. Рамазанов С.К. Система управления производственно - транспортным комплексом в условиях переходной экономики.// 4-я Всеукр. научно - методическая конференция по экономической кибернетике. Желтые Воды, 23-24 апреля 1999.
 97. Рамазанов С.К. Информационно-аналитическая система принятия решений в условиях производственно - экономического риска и неопределенности.// Научная конференция “Системный анализ и информационные технологии в экономике”, Запорожье, 1999.
 98. Рамазанов С.К., Аптекарь М.Д. Информационные технологии и модели принятия инвестиционных решений в условиях неопределенностей.// Материалы 4-й Международной научной конференции “Проблемы эконом. интеграции Украины в ЕС: инвестиционные аспекты”, Форос, 1999.- с. 144-146.
 99. Рамазанов С.К. Моделирование и управление транспортными потоками производственных систем в условиях переходной экономики.// Вісник СУДУ, Луганськ. – 1999. - №2 (18). - с. 202 – 207.

100. Рамазанов С.К., Гиркин Е.И., Луцкий В.В. Эколого-экономическое моделирование и оптимизация водопользования в регионе //Вісник Східноукр. держ. університету.- 2000. - №1(23).
101. Рамазанов С.К., Костырко Л.А. Модель управления дебиторской и кредиторской задолженностью предприятия в условиях переходной экономики //Вісник Східноукр. держ. університету. - 2000. – Ч.2. - №9(31). – с.20-22
102. Рамазанов С.К., Луцкий В.В. Динамическая модель управления переходной экономикой в условиях рисков и неопределенностей //Вісник Східноукр. держ. університету. - 2000. – Ч.1. - №9(31). – с.113-115.
103. Рамазанов С.К. Вопросы применения методов нелинейной динамики в социально-экономических системах.//Материалы Всеукраинской научно-практической конференции “Экономико-математическое моделирование и информационные технологии в рыночной экономике”, Луганск, 16-17 марта 2000.- с. 14-16.
104. Рамазанов С.К., Луцкий В.В. Эколого-экономическое моделирование производственно-транспортных систем в условиях перехода к рыночной экономике.// Материалы Всеукраинской научно-практической конференции “Экономико-математическое моделирование и информационные технологии в рыночной экономике”, Луганск, 16-17 марта 2000. - с. 16 – 18.
105. Рамазанов С.К. Моделі керування в системах еколого-економічного моніторингу в умовах перехідної економіки.//Економічна кібернетика: проблеми методології та підготовки фахівців. Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції. - Київ: КНЕУ, 2000. - с. 151 – 164.
106. Рамазанов С.К., Бузько И.Р. Динамічні моделі в ризикології.// Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції. Київ: КНЕУ, 2000.с. 175 – 177.
107. Рамазанов С.К. Моделирование и современные информационные технологии в социально-экономических и экологических системах. //Вісник СХУ, 2001, №9 (43). с. 154 – 166.
108. Рамазанов С.К., Аптекарь М.Д. Современные парадигмы моделирования и мониторинга системы «Человек-Окружающая среда» в техногенном регионе // Материалы Международной конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности – 2002»(Затока. Одесская область, 22-27 августа 2002 года). – Алчевск: ВОА МАНЭБ, ДГМИ, 2002. – с.93-100.
109. Рамазанов С.К. Интегрированная система эколого-экономического мониторинга, управления и принятия решений // Сб. научных трудов ВНУ и Познаньского технического университета. Сер. Экология. - 2002. - №1. – с. 22-36.
110. Рамазанов С.К. Сучасні проблеми керування перехідної економікою.//Збірник наукових праць Східноукраїнського національного університету ім.. Володимира Даля. Десятиріччю університету присвячується, 2003. - с.136-151.
111. Рамазанов С.К., Мушнина Л.А. Нечеткое и нейросетевое моделирование в управлении производственными системами в условиях переходной экономики.//Тезисы докладов VIII Всеукр. научно-методической конференции «Проблемы экономической кибернетики». - Алушта, 2003. – с. 147-148.

112. Рамазанов С.К., Бузько И.Р., Яковлева О.А. Нелинейное моделирование в социально-экономических системах в условиях риска.// Вісник СНУ імені Володимира Даля. – 2003. – № 3(61). – с. 143-149.
113. Рамазанов С.К. Модель оптимизации эффективности инвестиций предприятия в условиях нестабильной экономики.// Материалы Всеукраинской научно-методической конференции 30-31 октября 2003г. – Алчевск.- с.27-28.
114. Рамазанов С.К. Интеллектуальная система поддержки решений диагностики кризисного состояния промышленного предприятия//Новое в экономической кибернетике: (Сб. науч. статей). – Сер. "Управление маркетинговым потенциалом предприятия". – Донецк: ДонНУ, 2003. - № 2.- с.47-55.
115. Рамазанов С.К. Интеллектуальная система моделирования и управления эколого-экономическими рисками// Экономическая кибернетика: Международный научный журнал. – 2003.- №5-6. – с.65-71.
116. Рамазанов С.К. Модели оптимизации инвестиционных проектов в условиях риска// Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наукових праць. – 2003. - № 2. – с.124-130.
117. Рамазанов С.К. Интегральная нелинейная эколого-экономическая модель управления// Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наукових праць. – 2003. - № 3. – с.94-100.
118. Рамазанов С.К. Моделирование влияния новых технологий на производственно-экономическую систему// Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наукових праць. – 2004. - № 4. – с. 34-39.
119. Рамазанов С.К. Нелинейные эколого-экономические модели производственно-транспортных систем.//Зб. наукових праць "Економічні проблеми адаптації та розвитку вищої школи в умовах ринку". Ч. 1. – Алчевськ. – 2004. – с.53.-61.
120. Рамазанов С.К. Нелинейная стохастическая эколого-экономическая модель управления предприятием// Зб. наукових праць “Економіка. Менеджмент. Підприємство”. – Луганськ: Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – 2003. – № 11. – с.173-179.
121. Рамазанов С.К. Нелинейная динамическая модель конкуренции//Сб. наук. праць СНУ ім. В. Даля (Матеріали ІХ міжнародної конференції науково-практичної "Університет і регіон"). – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2004. - Частина друга. - с.139-141.
122. Рамазанов С.К. Интегральная нелинейная динамическая модель экономики// Сб. наук. праць СНУ ім. В. Даля (Матеріали ІХ міжнародної конференції науково-практичної "Університет і регіон"). – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2004. - Частина друга. - с.138-139.
123. Рамазанов С.К. Модели эколого-экономического управления промышленным предприятием//Сб. наук. праць СНУ ім. В. Даля (Матеріали ІХ міжнародної конференції науково-практичної "Університет і регіон"). – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2004. - Частина друга. - с.141-142.
124. Рамазанов С.К. Динамика и управление рисками в условиях смешанной неопределенности // Новое в экономической кибернетике: Сб. науч. статей. – Вып. 4. – Донецк: ДонНУ, 2004. – С. 15-27.

125. Теория переходной экономики. Т. 1. Микроэкономика: Учебное пособие/ Под ред. В.В. Герасимова. – М.: ТИЕС, 1997. – 318с.; Т. 2. Макроэкономика: Учебное пособие/ Под ред. Е.В. Красниковой. М.: ТИЕС, 1998. – 231с.
126. Курс экономической теории. Общие основы экономической теории , микроэкономики, макроэкономики и переходной экономики: Учебное пособие. - М.: МГУ, Изд-во “ДИС”, 1997. – 736с.
127. Логистика: Учеб. Пособие/Под ред. Б.А.Аникина. – М.: ИНФРА-М, 1997. –327с.
128. Ульшин В.А., Павлюк Н.П., Травинин В.И. Автоматизированный контроль и управление экологической ситуацией на углеобогатительных фабриках //Уголь Украины. - 1994. - N2. - с.8-10.
129. Ульшин В.А., Павлюк Н.П., Рафалес-Колбатиков Э.Э. Опыт разработки и внедрения АСУТП ЦОФ "Свердловская" ПО " Антрацитуглеобогащение".-М.: ЦНИЭИУголь, 1986. - 44с.
130. Ульшин В.А., Башков М.И., Бурлаков Ю.А. Об автоматизации процессов углеобогащения //Уголь. - 1981. - N4. -с.41-43.
131. Ульшин В.А. Концепция развития автоматизации углеобогатительных фабрик //Уголь Украины. - 1993. - N11. - с.40-43.
132. Ульшин В.А., Бардамид В.И., Меняйленко А.С. Математическая модель процесса горения топлива в слоевой топке. //Кокс и химия.-1985.-N8.-с.12-14.
133. Справочник по теории автоматического управления /Под ред. А.А. Красовского. -М.: Наука, 1989.- 782с.
134. Зенцев В.Н., Ковалева А.И., Ульшин В.А. Автоматическая оптимизация комплекса процессов обогащения угля //Система автоматизации, средства автоматики и связи для угольных предприятий: Сб. науч. трудов ин-та Гипроуглеавтоматизация. - М.,- 1990. - с. 124- 137.
135. Юсфин Ю.С., Леонтьев Л.И., Черноусов П.И. Промышленность и окружающая среда. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 469 с.
136. Власов К.П. Основы автоматического управления технологическими процессами обогащения угля. - М.: Недра, 1985. - 188 с.
137. Арнольд В.И. Теория катастроф. - М., 1990. –124с.
138. Занг В.-Б. Синергетическая экономике. Время и перемены в нелинейной экономической теории: Пер. с англ. – М.: Мир, 1999. – 335с.
139. Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С. Введение в синергетику. - М.: Наука, 1990.
140. Ахромеева Г.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Нестационарные структуры и дифференциальный хаос. – М.: Наука, 1992. – 542с.
141. Иванилов Ю.П., Лотов А.В. Математические модели в экономике. – М.: Наука, 1979. –304с.
142. Лебедев В.В. Математическое моделирование социально-экономических процессов. – М.: Изограф, 1997. – 224с.
143. Петров А.А., Пospelов И.Г. Опыт математического моделирования экономики. М.: Энергоатомиздат, 1996. – 544с.
144. Ланкастер К. Математическая экономика. – М.: Сов. радио, 1972.- 236с.
145. Красовский Н.Н. Управление динамической системой. - М.: Наука, 1985.- 548с.

146. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т.3: Методы современной теории автоматического управления /Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000.-748 с.
147. Ашманов С. А. Математические модели и методы в экономике. – М.: МГУ, 1980. – 199 с.
148. Михалевич М.В. Макроекономіка. Навч. посібник для студентів економ. спец. ВНЗ. – К.: Вища шк., 2003. – 448с.
149. Кучин Б.Л., Якушева Е.В. Управление развитием экономических систем. Технический прогресс, устойчивость. – М.: Экономика, 1980. – 158с.
150. Пушкарь А.И. Модели управления производственно-экономических систем. – Харьков: ХГЭУ, 1997. – 268с.
151. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи, Методы. Примеры. – М.: Наука, Физматлит, 1997. – 320с.
152. Лаврик В.І Методи математичного моделювання в екології. – К.: Вид. дім "КМ Академія". – 2002. – 203с.
153. Шапкин А.С. Экономические и финансовые риски. Оценка, управление, портфель инвестиций: Монография. – М.: Издательско-торговая корпорация " Дашков и К0 ", 2003. – 544с.
154. Вітлінський В.В., Великоіваненко Г.І. Ризикологія в економіці та підприємстві. Монографія.– К.: КНЕУ, 2004. – 480с.
155. Ястремский А.И. Стохастические модели математической экономики. – К.: Вища шк., 1983. – 127с.
156. Огарков М.А. Методы статистического оценивания параметров случайных процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 208с.
157. Бертсекас Д. Условная оптимизация и методы множителей Лагранжа: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 400с.
158. Управление крупным промышленным комплексом в транзитивной экономике: Монография/ Под общей ред. проф. Ю.Г. Лысенко, проф. Н.Г. Гузя. – Донецк: ООО "Юго-Восток, Лтд", 2003.- 670с.
159. Лысенко Ю.Г., Макаров К.Г., Петренко В.Л., Филиппов А.В. Леверидж. Экономические приложения. –Донецк: ДонГУ, Юго-Восток, 1999.- 104с.
160. Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах. Под ред. К.Т. Леондеса. – М.: Мир, 1980. – 408с.
161. Фомин Я.А. Диагностика кризисного состояния предприятия. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 349с.
162. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов. - М.: Наука, 1974. - 234с.
163. Растрингин Л.А., Эренштейн Р.Х. Метод коллективного распознавания образов. - М.: Энергоатомиздат, 1981. - 46с.
164. Timothy J. Ross. Fuzzy logic with engineering applicasions. - New York: McGraw-Hill, 1995. - 600p.
165. Красс И. А. Математические модели экономической динамики. – М.: Сов. радио, 1976. -226с.
166. Колемаев В.А. Математическая экономика. – М.: ЮНИТИ, 1998.- 240с.

167. Математические методы принятия решений в экономике: Учебник/Под ред. В.А. Колемаева / ГУУ. – М.: ЗАО “Финстатинформ”, 1999. – 388с.
168. Гирусов Э.В. и др. Экология и экономика природопользования: Учебник для вузов/ Под ред. проф. Гирусова . - М.: Закон и право, ЮНИТИ, 1998. – 455с.
169. Бобылев С.Н., Ходжаев А.Ш. Экономика природопользования: Учебное пособие. - М.: ТЕИС, 1997. – 272с.
170. Математические модели трансформационной экономики: Уч. пособие/ Клебанова Т.С. и др.- Х.: ИД "ИНЖЕК", 2004. – 280с.
171. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. - М.: Машиностроение, 1981. - 160с.
172. Аксенов И.Я., Аксенов В.И. Транспорт и охрана окружающей среды. - М.: Транспорт, 1986. - 176с.
173. Малов Р.В. и др. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды. - М.: Транспорт, 1982. - 200с.
174. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении: Пер. с англ./Под ред. Б.Р. Левина.- М.: Связь, 1976.- 432с.
175. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рехедел К. Оптимизация в технике.- М.: Мир, 1986. - Кн. 1. - 349 с.
176. Растрингин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. - М.: Сов. радио, 1980. - 232с.
177. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. - М.: Мир, 1975. - 348с
178. Хинчин А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания. - М.: Наука, 1963.- 212 с.
179. Гнеденко Б.В., Коваленко Н.Н. Введение в теорию массового обслуживания. - М.: Наука, 1987. - 234 с.
180. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения.- т.1.- М.: Мир, 1984. - 314 с.
181. Справочник по теории вероятностей и математической статистики/В.С. Корлюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.В. Турбин.М.: Наука, 1985.- 528 с.
182. Поляк Ю.Г. Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах. - М.: Советское радио, 1971. - 324 с.
183. Естественно-экономические основы оптимизации экосред: В 3-х кн.:Кн.1/Л.М.Горев, С.И.Дорогунцев, М.А.Хвесик. - К. :Либідь,1994. - 238с.; Кн.2/Л.М.Горев, С.И.Дорогунцев, М.А.Хвесик. -К.:Либідь, 1994.-240с.; Кн.3/Л.М.Горев, С.И.Дорогунцев, М.А.Хвесик.-К.:Либідь, 1994.-248с.
184. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. -М.: Гидрометеиздат, 1984.- 560 с.
185. Израэль Ю.А. Проблемы охраны окружающей среды и пути их решения. -Л.: Гидрометеиздат, 1984.- 48 с.
186. Миколаш Я., Питерман Л. Управление охраной окружающей среды. М., 1983.- 239 с.
187. Моисеев Н. Н. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. М., 1985.-126с
188. Моисеев Н.Н. Модели экологии и эволюции. - М.: Знание,1983.-64с.

189. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. - М.: Наука, 1981. - 434с.
190. Зайко В.К, Рамазанов С.К. Моделирование и прогнозирование атмосферных процессов в зоне углеобогатительных объектов в условиях стохастической неопределенности //Материалы научно-технической конференции "Экология промышленного региона". - Донецк, 1995.- с. 34-35.
191. Горелик Д.О., Конопелько Л.А. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов. Аэроаналитические измерения. - М.: Изд-во стандартов, 1992.-432с.
192. Горстко А.Б., Домбровский Ю.А., Сурков Ф.А. Модели управления эколого-экономическими системами.- М.:Наука, 1984. - 120 с.
193. Горстко А.Б., Угольницкий Г.А. Введение в моделирование эколого-экономических систем.- Ростов-на-Дону: РГУ.- 1990. - 110 с.
194. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды/ Отв. ред. М.М. Лаврентьев. - Новосибирск: Наука. СО, 1985.- 256 с.
195. Песаран М., Слейтер Л. Динамическая регрессия: Теория и алгоритмы. - М.: Финансы и статистика, 1984. - 310 с.
196. Валеев С.Г. Регрессионное моделирование при обработке наблюдений. - М.: Наука, 1991.- 269 с.
197. Демиденко Е.З. Оптимизация и регрессия.- М.:Наука, 1989.-342 с.
198. Острем К.Ю. Введение в теорию стохастического управления. - М.:Мир, 1973.- 321с.
199. Петросян Л.А., Захаров В.В. Введение в математическую экологию. -Л.: ЛГУ, 1986. - 224 с.
200. Бутовецкий В.С. Охрана природы при обогащении углей: Справочное пособие - М. : Недра, 1991. - 231 с.
201. Рекомендации по технологическим схемам и параметрам обогащения крупного и мелкого угля в магнетитовых суспензиях. М. МУП СССР, ИОТТ, 1988. 204с.
202. Рекомендации по эксплуатации водно-шламового хозяйства углеобогатительных фабрик.- Луганск: МУП УССР, УкрНИИУглеобогащение, 1977.- 124с.
203. Технология обогащения углей/Т.Г. Фоменко, В.С. Бутовецкий, Е.М. Погарцева.- М.:Недра, 1985.- 358 с.
204. Кристофидес Н. Теория графов. -М.: Наука, 1978.- 427с.
205. Зубов Д.А., Рамазанов С.К., Ульшин В.А. Нейромоделирование в управлении технологическими процессами углеобогащения //Материалы международной конференции "Новые компьютерные технологии АСУП и САПР в промышленности". - Киев, 1995.
206. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1.-М.: Мир, 1974. -406 с.
207. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ. - М.: Мир, 1993.- 548с.
208. Медич Дж. Статистические оптимальные линейные оценки и управление: Пер. с англ. /Под ред. А.С.Шаталова.- М.: Энергия, 1973.-306с.
209. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. - М.: Радио и связь, 1988.-128 с.

210. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. - М.: Мир, 1975.- 534 с.
211. Ullshin V.A., Bardamid V.I., Manyailenko A.S., Serdiuk N.S. An Equipment Complex for coal drying process automation // Preprints of the IFAC Symposium "Automation on mining, mineral and metal processing".-24-29 August 1986.
212. Филиппов В.А. Технология сушки и термоаэроклассификация углей.- М.: Недра, 1987. - 287с.
213. Bellman R., Zadeh L.A. Decision - making in a fuzzy environment.-Management Science. 1970.-V.17.-p.141-162.
214. Златкин В.И., Стальский В.В. Математическая модель процесс сушки обогащенных фосфатных руд во вращающейся барабанной сушилке //Изв. вузов.- Горный журнал, 1970. - N5.- с.163-169.
215. Лыков А.В. Теплообмен: Справ. - М.: Энергия, 1972. - 322с.
216. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. -Л.: Госэнергоиздат, 1963. - 535 с.
217. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем.-М.:Наука,1982.-348с.
218. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации.- М.: Наука, 1978.- 234 с.
219. Мороз А.И. Курс теории систем: Учеб. пособие. - М.: Высш. шк., 1987. - 304с.
220. Моисеев Н. Н. Алгоритмы эволюции. М., 1987.- 196с.
221. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. - М.: Наука, 1987.
222. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему.- М.: Энергоатомиздат, 1991.- 286 с.
223. Рафалес-Ламарка Э.Э., Власов К.П., Лехциер А.Р. Выбор критерия эффективности при автоматическом управлении углеобогащательными аппаратами //Горный журнал. Известия вузов. - 1970. - N6. - с.171 - 178.
224. Бакан Г.М. Фильтрация в условиях нестатистически заданной неопределенности //Автоматика.- 1980. - N°2. - с. 13-21.
225. Калиткин Н.Н. Численные методы.- М.: Наука, 1975.- 512 с.
226. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Анализ и синтез химико-технологических систем - М., Химия, 1991.- 432с.
227. Ковальчук П.И., Лахно Е.С. Прогнозирование и оптимизация санитарного состояния окружающей среды. - К.: Выща шк. , 1988. - 187.
228. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86.- Л. : Гидрометеоздат, 1987. - 112с.
229. Справочник по охране окружающей среды/В.Т. Сахаев, Б.В. Щербицкий. - К.: Будівельник, 1986. - 152с.
230. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценке экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды/А.С. Быстров, В.В. Варанкин, М.А. Виленский и др. - М.: Экономика, 1986. - 96с.

231. Звонов В.А., Заиграев Л.С., Козлов А.В. Методические указания к выполнению раздела дипломного проекта “ Экологические показатели локомотивов “. - Луганск: ВУГУ, 1994. - 32с.
232. Денисов А. А., Колесников Д. Н. Теория больших систем управления.- Л.: Высш. шк, 1982. - 288 с.
233. Ивахненко А.Г., Лапа В.Г. Предсказание случайных процессов.- Киев: Наукова думка, 1971.-420с.
234. Макаров М.М. и др. Теория выбора и принятия решений. - М.: Наука, 1982.- 322с.
235. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы: Пер. с англ. - М.: Мир, 1978. - 311с.
236. Одум Ю. Экология: в 2-х томах / Пер. с англ. - М.: Мир. - Т.1.-1986. - 328 с., Т.2.- 1986. - 376 с.
237. Обен Ж.-П. Нелинейный анализ и ее экономические приложения: Пер. с франц. – М.: Мир, 1988. – 264 с.
238. Певзнер М.Е., Костовицкий В.П. Экология горного производства. - М.: Недра.- 1990,- 235 с.
239. Пененко В.В. Методы численного моделирования атмосферных процессов. - Л.: Гидрометеоздат. - 1981. - 352 с.
240. Полуэтков Р.А., Пых Ю.А., Швытов И.А. Динамические модели экологических систем. - Л.: Гидрометеоздат, 1980.- с.288.
241. Примак А.В., Кафаров В.В., Качиашвили К.И. Системный анализ контроля и управления качеством воздуха и воды. - Киев.: Наук. думка, 1991. -358 с.
242. Пугачев В.С., Синицын Н.И. Стохастические дифференциальные системы. -М.: Наука, 1990.-632с.
243. Системы борьбы с пылью на промышленных предприятиях. / Саранчук В.И. и др.-К.: Наук. думка, 1994.-190с.
244. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учебник. - М.: Высш. шк., 1985.-271с.
245. Стрейн В. Метод пространства состояния в теории дискретных линейных систем управления. - М.: Наука. - 1985. - 293 с.
246. Сухарев А.Г., Тихомиров А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. - М.:Наука,1986.
247. Сытник К.М., Брайон А.В., Гордецкий А.В., Брайон А.П. Словарь-справочник по экологии. - К.: Наук. думка, 1994. - 666 с.
248. Таусенд К., Фохт Д. Проектирование и программная реализация ЭС на ПЭВМ / Пер. с англ. В.А. Кондратенко, С.В. Трубицына. - М.: Финансы и статистика, 1990.- 318 с.
249. Теория систем в приложении к проблемам защиты окружающей среды. К., 1982.- 264 с.
250. Ульшин В.А., Кипа В.К., Золотарев А.И. Система автоматического управления процессом сгущения шламовых вод и осветления отходов флотации //Кокс и химия. - 1991. - N4. - с.37-40.

251. Ульшин В.А., Кипа В.К., Локаенко А.Ф. Аппаратура КАУС.1 для автоматизации процессов сгущения шламовых вод и осветления отходов флотации//Уголь Украины. -1991.- N2.- с.37-38.
252. Фомин Г.С., Фомина О.Н. Воздух. Контроль загрязнения по международным стандартам: Справочник. /Под ред. С.А. Подлепы. -М: Изд-во "Протектор", 1994.- 228 с.
253. Форрестер Дж. Мировая динамика. -М.: Мир, 1978.- 212с.
254. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1968.- 400 с.
255. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. - М.: Наука,1984.
256. Цыпкин Я.З. Основы теории обучающихся систем. -М.: Наука,1970. - 252с.
257. Черноусько Ф.Л. Оценивание фазового состояния динамических систем. Метод эллипсоидов. - М.: Наука, 1988.-320с.
258. Экология горного производства. Учебник для вузов/ Г.Г. Мирзоев, Б.А. Иванов, В.М. Щербаков и др.- М.: Недра, 1991. - 320 с.
259. Эндриус Альфред. Экономика окружающей среды.- К.: Либідь, 1995. - 168с.
260. Черемных Ю. Н. Качественное исследование оптимальных траекторий динамических моделей экономики. – М.: МГУ, 1975. - 342с.
261. Рамазанов С. К., Иванов В. Л. Компьютерная технология поддержки маркетинговых решений на рынке финансовой информации // Вестник ВУГУ. Сер. Маркетинг. – Луганск, ВУГУ, 1997. - с. 76-86.
262. Савчук В.П., Прилипко С.И., Величко Е.Г. Анализ и разработка инвестиционных проектов. - Киев: Абсолют-В, Эльга, 1999.-304с.
263. Морозов В.П., Тихомиров В.П., Хрусталева Е.Ю. Гипертексты в экономике. Информационная технология моделирования: Учеб. пособие. - М.: Финансы и статистика, 1997. - 256с.
264. Пахомов Ю.М., Лук'яненко Д.Г., Губський Б.В. Національні економіки в глобальному конкурентному середовищі.-К.: Україна, 1997. - 237с.
265. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Орлова Е.Р., Смоляк С.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов. - М.: Дело, 1998. - 248с.
266. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. Уч. пособие. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 416с.
267. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. - М.: "Мир", 1988.
268. Голуб А.А., Струкова Е.Б. Экономика природных ресурсов. - М.: Аспект-Пресс, 1998. - 319с.
269. Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г. и др. Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика. – М.: Наука, 2000 – 432 с
270. Глушков В.М., Иванов В.В., Яненко В.М. Моделирование развивающихся систем. – М.: Наука, 1983. – 350с.
271. Магницкий Н.А., Сидоров С.В. Новые методы хаотической динамики. – М.: Едиториал УРСС, 2004. -320 с.
272. Тарасевич Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование. Вводный курс: Уч. пособие. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 144 с.
273. Сергеева Л.Н. Нелинейная экономика: модели и методы. Монография. – Запорожье: «Полиграф», 2003. – 218 с.

274. Вильям Дж. Стивенсон. Управление производством / Пер. с англ. – М.: ООО «Издательство «Лаборатория Базовых Знаний», ЗАО «Издательство БИНОМ», 1998. 928 с.
275. Бир Стаффорд. Кибернетика и менеджмент: Пер. с англ. / Под ред. А.Б. Челюсткينا. Предисл. Л.Н. Отоцкого. Изд. 2-е. – М.: КомКнига, 2006. – 280 с.
276. Dillman R.A. A graphical emulaton systemfor robots designand program testing //Proc.XIII ISIR. Chicago, 1983. Vol. 1.p.1-15.
277. Expert systems Impacts and potentials /Wiig Karl M. //KBS 86 : Knowl. Based Proc. Int. Conf. London, July 1986.
278. Expert desision - support systems for decision-maiking /Lee Daniel T.J. Inf. Technol. 1988 v.3 , 2.
279. Fundamentals of expert systems /Bachman Bruce G., Smith Reid G.// Annu. Rev. Comput. Sci. Vol.3.
280. Keith E. Williams McDonnell Douglas Automation, St.Louis, Mis-souri: Offline programming to the factory floo //Proc. AUTOFACTVI conf., Oct. 1-4, 1984, Cal.
281. Kruleshov V.S., Gorbachov V.S., Taligin A.K.Instrumental system for computer-aided design of robot system //Proc. V IFAC/IF- TIP /IMACS /IFORS symp., Suzdal, USSR, Apr. 22-25, 1986.Moscow, 1986. p. 439-445.
282. Managing Expert Systems /Niel Brant.. - Chichester NY - John Wiley and Sons 1986.-p. 122-131.
283. On two AI traditions /Gill Satinder P. //AI and Society, 1988. - N2 - p. 44-49.
284. Sata T., Amano A., Kimura F. Robot simulation system as at ask programming tool//Proc. XI ISIR. Tokio, 1981. p.595 - 602.
285. Згуровский М.З. Украина в глобальных измерениях устойчивого развития. - Интернет, 2007.
286. Автоматизация управления предприятием. / Баронов В.В. и др. – М.: ИНФРА – М, 2000. – 239 с.
287. Менеджмент процессов. /Под ред. Й. Беккера, Л. Вилкова, В. Таратухина, М. Кугелера, М. Роземанна; Пер. с нем. – М.: Эксмо, 2007. – 384 с.
288. Системы экологического менеджмента для практиков /С.Ю. Дайман, Т.В. Островкова, Е.А. Заика, Т.В. Сокорнова: Под ред. С.Ю. Даймана. – М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 248 с.

Эффективность интеллектуализации и нечеткого управления производственными процессами

В данном приложении покажем эффективность применения активных экспертных систем управления и нечетких регуляторов для ТП ОФ в сравнении с традиционными методами теории автоматического управления. Для этого можно выполнить следующее: либо на примере конкретных ТП ОФ сравнить результаты имитационного моделирования динамики данного объекта, в контуре управления которого используется традиционный регулятор, например, ПИД - регулятор и функционирование интеллектуального или нечеткого регулятора при типовых входных воздействиях, или же можно провести анализ мировой научной литературы по вопросу интеллектуализации управления и синтеза нечетких регуляторов и их эффективности. В силу отсутствия адекватных математических моделей динамики ТП ОФ, информационно-измерительных средств получения необходимых данных наблюдений и трудноформализуемости имеющейся информации выберем второй путь исследования [21-27]. В работе [22] рассматривается реальный ТП, описываемый передаточной функцией вида:

$$W(p) = \frac{0.63 \exp(-p)}{33.5p + 1}.$$

Результаты моделирования динамического поведения (т.е. переходные процессы) данного управляемого объекта с использованием ПИД-регулятора (кривая 1) и интеллектуального регулятора ЭС представлены на рис. А.1-А.2 [21].

Заметим, что база данных ЭС управления содержит сведения об интеллектуальных данных измерений реальных характеристик динамики объекта управления (ОУ) (время переходного процесса, время запаздывания, величина и время перерегулирования, амплитуда переходного процесса и т.п.), о видах критериев и законах управления, граничных величинах, характеризующих устойчивость ОУ, результаты имитационного моделирования и т. д.

В работах [21,27] приведены соответствующие правила вывода и алгоритма управления. Из рис. А.1 следует, что переходной процесс ОУ с активной ЭС управления стремится к идеальной характеристике с минимальной степенью и временем перерегулирования по сравнению с оптимизированным ПИД-регулятором и является робастным при наличии шумов в управляющем воздействии (рис. А.2).

В работах [21-25] для ОУ с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{\exp(-1.5p)}{(0.5p + 1)(0.4p + 1)}$$

получены переходные процессы (рис. А.3) интеллектуального (кривая 1), логического (кривая 2) и традиционного (кривая 3) ПИД-регулятора.

В работе [27] получены результаты имитационного моделирования (рис. А.4) переходных процессов для ПИД-регулятора (кривая 1), нечеткого ПИД-регулятора (кривая 2) и интеллектуального ПИД-регулятора (кривая 3), когда рассматривается объект управления с запаздыванием вида: $W(p) = \frac{\exp(-\tau p)}{(5p + 1)}$.

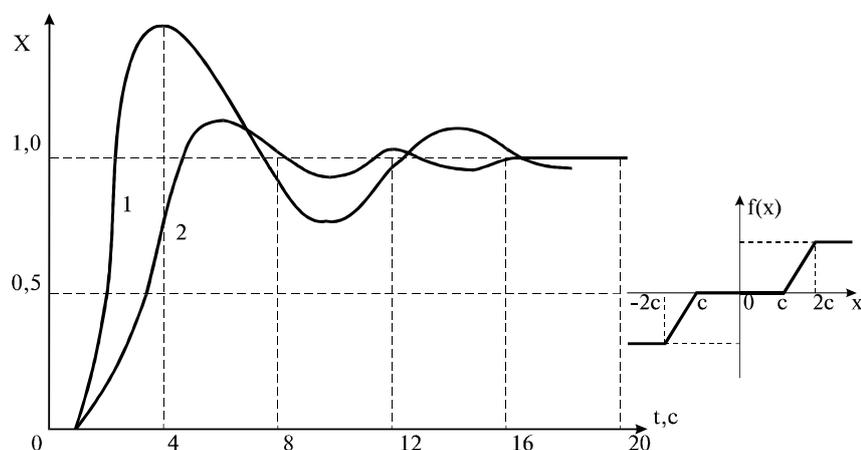


Рис. А.1.

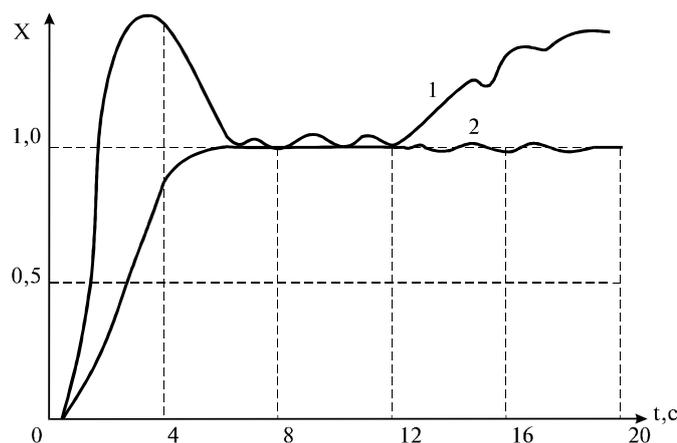


Рис. А.2.

На рис. А.4 видно, что с увеличением времени запаздывания эффективность интеллектуального регулятора возрастает по сравнению с нечетким и традиционным ПИД - регулятором.

Подобные исследования проведены также в работах [21-27].

Таким образом, указанные исследования и рис. А.1- А.4 демонстрируют достаточно высокую эффективность интеллектуальных и нечетких регуляторов по сравнению с традиционными регуляторами типа ПИД-регуляторов. Более того, использование интеллектуальных, нечетких и гибридных регуляторов для ТП ОФ значительно оправдано и обосновано в условиях информационной неопределенности и ее трудноформализуемости.

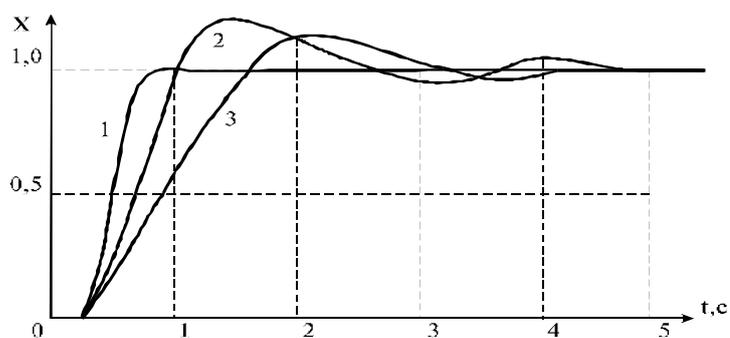


Рис. П1.3

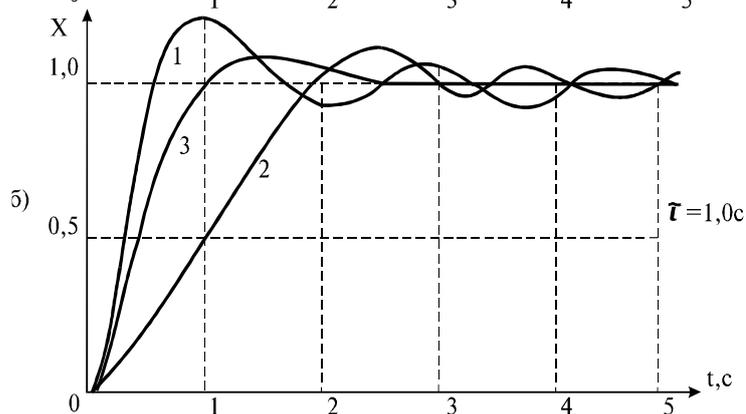
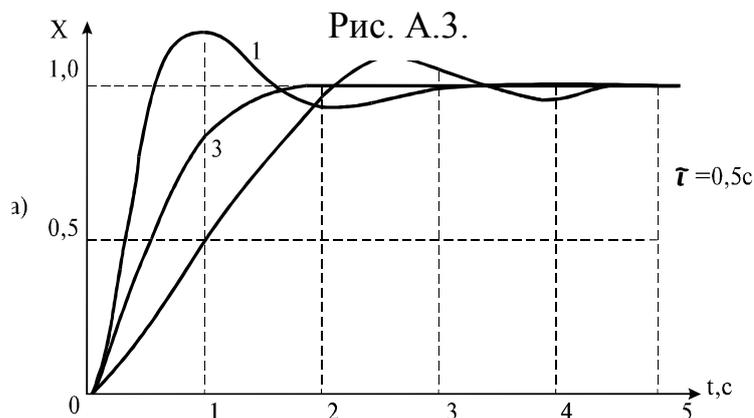


Рис. П1.4

Рис. А.4.

Приложение Б

Экологическая эффективность автоматизации управления процессами углеобогащения

Вопрос экспериментального исследования экологической эффективности автоматизации управления рассмотрим на примере процесса сушки, как наиболее экологически вредного и опасного процесса.

Процесс сушки концентрата на ОФ является завершающей технологической процедурой и состоит из двух последовательных звеньев: процесс топки и непосредственно сушка.

Целью данного исследования является показ актуальности оптимизации и автоматизации режимов управления сушильных установок для снижения выбросов в атмосферу дымовых газов, оксидов серы и азота, пыли, а также опасности взрывов и других критических ситуаций.

Основными параметрами управления процессом сушки угля является температура сушильного агента (топочного устройства), которая регулируется изменением расхода топлива в топке и количества первичного воздуха, необходимого для горения, а расход топлива — изменением скорости движения колосниковой решетки [206,207].

Процесс сушки сопровождается большим количеством выбросов (эмиссии) в окружающую среду следующих вредных веществ: пыль (C_1), зола (C_3), диоксид азота NO_2 (C_2), диоксид серы SO_2 (C_4) и оксид углерода CO (C_5) — топочным устройством и пыль сушки.

Воспользуемся следующими обозначениями из работы [206]: $T(t)$, T^* — текущая и заданная температура в топке; $W_2(t)$, W_2^* — текущая и заданная (номинальная) влажность высушенного угля; $\bar{T}(t), \bar{W}_2(t)$ — средние значения температуры в топке и влажность высушенного угля; G_T^* — заданный расход топлива; $G_c(t)$ — производительность сушилки по сырому углю. Заметим, что $T(t) = F[T^*, W_2(t), W_{2min}]$, где $F[.]$ — некоторая (неизвестная) нелинейная функция.

При управлении сушильной установкой ЦОФ "Криворожская" получены следующие результаты:

при $T^* = 655$ °C и $W_2^* = 12\%$ -

$\bar{T}^a(t) = 656.6$ °C, $\sigma_T^a = 12.5$ °C — в случае автоматического управления;

$\bar{T}^p(t) = 686.3$ °C, $\sigma_T^p = 62.2$ °C — в случае ручного управления.

КПД топки увеличился на 5.82%, а сушильной установки в целом — на 7.26%; заданный расход топлива $G_T^* = 1982.5$ кг/ч; среднесуточное время работы сушильной установки 5.8 ч и работает она 300 дн./год. Цена 1 т угля составляет 80..90 грн.

Необходимо установить зависимость уровня концентраций выбросов вредных веществ от автоматизации и рассчитать ее эффективность.

Заметим, что в общем случае справедливы следующие зависимости:

$$C_i = f_1(T), \quad i=1,2,3 \text{ и } C_4 = f_2(G_T), \quad (\text{Б.1})$$

где C_1 — пыль, C_2 — NO_2 , C_3 — зола, C_4 — SO_2 , причем $f_1(.)$ и $f_2(.)$ — некоторые нелинейные функции.

На основании наблюдений и учета физико-химических законов процесса горения [207] можно установить, что чем выше температура $T(t)$ в топке ($T(t) \leq T_{\text{max, доп}}$), тем больше выбросов в ОС пыли, золы, диоксида азота, а выбросы оксида углерода за счет полного сгорания топлива, уменьшаясь, стабилизируются. Также заметим, что диоксид серы SO_2 увеличивается при увеличении расхода топлива G_T .

Для получения гарантированного результата, т.е. наилучшего результата в наихудшем (грубом) случае, допустим, что в рабочих диапазонах изменения температуры $T_0 \leq T(t) \leq T_{\text{max, доп}}$ и расхода топлива $G_T^0 \leq G_T(t) \leq G_T^k$ зависимости (Б.1) можно представить как:

$$\begin{cases} C_i = C_i^* + a_i [T(t) - T^*], & i = 1, 2, 3, \\ C_4 = C_4^* + a_4 [G_T(t) - G_T^*], \end{cases} \quad (\text{Б.2})$$

а для оксида углерода (CO) C_5 допустим условие $C_5 = \text{const}$ при большом T .

Для расчетов удобнее соотношения (П2.2) представить в приращениях, т.е.:

$$\begin{cases} \Delta C_1 = a_1 \Delta T, \Delta C_2 = a_2 \Delta T, \Delta C_3 = a_3 \Delta T, \\ \Delta C_4 = a_4 \Delta G_T. \end{cases} \quad (\text{Б.3})$$

Допустим, что $\Delta C_i = k_i C_i^*$ при $i = \overline{1,3}$ и $k_1 = (\overline{T}^p - \overline{T}^a) / \overline{T}^a$. Тогда $\hat{a}_i = k_1 C_1^* / (\overline{T}^p - \overline{T}^*)$. Т.е. $\Delta C_i = \hat{a}_i \Delta T$ и $\beta_i = \arctg \hat{a}_i$ — углы наклона прямых зависимостей (Б.2).

Для оценки a_4 учтем увеличение КПД (η_c) всей сушильной установки при ее автоматизации, т.е. положим $k_2 = 0.01 \eta_c$ и допустим, что $\Delta G_T = k_2 G_T^*$, $\Delta C_4 = k_2 C_4^*$.

Тогда $\hat{a}_4 = C_4^* / G_T^*$. Т.е. $\Delta C_4 = \hat{a}_4 \Delta G_T$, $\beta_4 = \arctg \hat{a}_4$.

Таким образом, алгоритм расчета можно представить в виде:

1. Задание исходных данных:

- предельно допустимые выбросы (норма):

$$C_1^* = 0.18 \text{ г/с}, C_2^* = 1.27 \text{ г/с}, C_3^* = 13.82 \text{ г/с}, C_4^* = 37.36 \text{ г/с};$$

- технологические параметры:

$$T^* = 655^\circ \text{C}, G_T^* = 1.982 \text{ т/ч}, \overline{T}^p = 686.3^\circ \text{C}, \overline{T}^a = 656.6^\circ \text{C},$$

$$\Delta \eta_- = 7.26\%.$$

2. Определение оценок параметров модели $\{\hat{a}_i, \beta_i, i = \overline{1..4}\}$:

$$\hat{a}_i = k_1 C_i^* / (\overline{T}^p - \overline{T}^*), \hat{a}_4 = C_4^* / G_T^*, i = \overline{1,3},$$

$$\beta_i = \arctg \hat{a}_i, k_1 = (\overline{T}^p - \overline{T}^a) / \overline{T}^a.$$

3. Определение зависимостей и построение их графиков:

$$\begin{cases} \Delta C_i = \hat{a}_i \Delta T, i = 1, 2, 3, \\ \text{при } 0 \leq \Delta T \leq 30; \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta C_4 = \hat{a}_4 \Delta G_T, \\ \text{при } 0 \leq \Delta G_T \leq 0.1. \end{cases}$$

Определим также величину экологического ущерба (в грн/год), т.е. экологический эффект автоматизации при учете экологических параметров. Для этого вычислим изменения эффекта как:

$$\mathcal{E}_{\text{эс}} = 300 T_c \left\{ \sum_{i=1}^3 n_i \hat{a}_i (\overline{T}^p - \overline{T}^*) + n_4 k_2 G_T^* \hat{a}_4 \right\}, \text{ грн/год},$$

где $T_c = 5.8$ ч - время работы сушильной установки в день; $k_2 = 0.0726$;

$\Pi_1 = \Pi_3 = 1.6$ грн/т; $\Pi_2 = \Pi_4 = 52.71$ грн/т.

Аналогичны расчеты выполнены в случае ЦОФ "Суходольская" ПО "Луганскуголь".

Результаты компьютерного расчета можно представить следующим образом:

- параметры зависимостей:

$$\hat{a} = [\hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3, \hat{a}_4] = [9.87 \cdot 10^{-7}, 6.96 \cdot 10^{-6}, 7.58 \cdot 10^{-5}, 0.068]$$

$$\hat{\beta}_i = \hat{a}_i, i = \overline{1,4};$$

- графики зависимостей:

а) $\Delta_{,,i} = \hat{a}_i \Delta T, i = \overline{1,3}$ (рис. Б.1);

б) $\Delta_{,,4} = \hat{a}_4 \Delta G_T$ (рис. Б.2). $\mathcal{E}_{66} = 920.861$ грн/год.

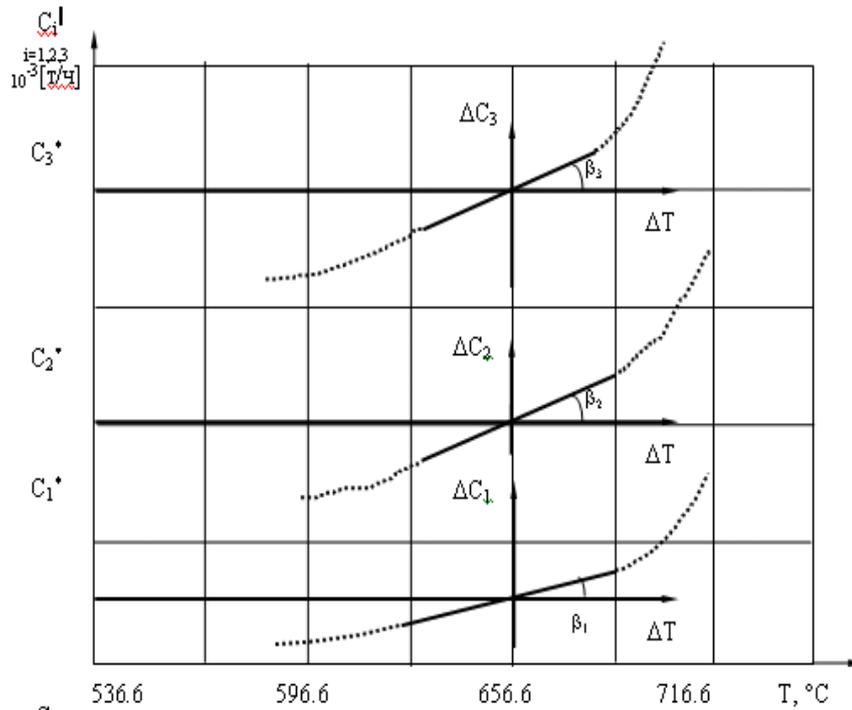


Рис. Б.1.

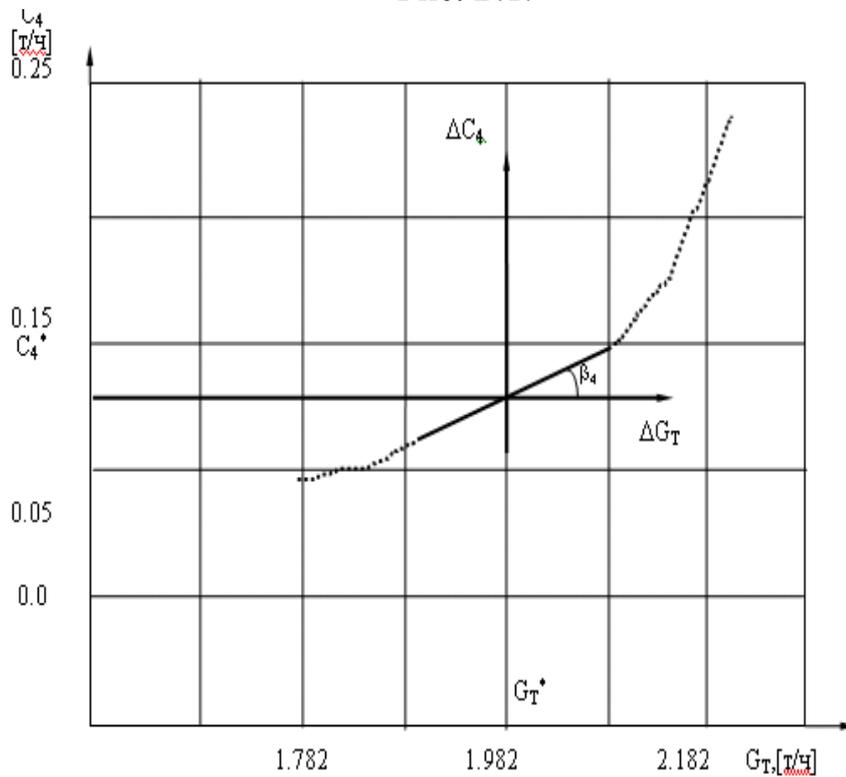


Рис. Б.2

Таким образом, по данным расчета можно делать следующие выводы. Полученные результаты расчетов при указанных выше допущениях о линейной

зависимости в окрестности заданных (номинальных) значений параметров T^* и G_T^* в рабочем диапазоне работы сушильной установки показывают, что несмотря на мизерные тарифные платы за выбросы получен ущерб от одной установки ок. 1000 грн/год при ее работе 5.6 ч в сутки. Важной проблемой является просмотр стандартов при оценке уровня выбросов, т.е. тарифы по оплате за ущерб не удовлетворяют современной экологической ситуации. Социальный эффект автоматизации — это уменьшение влияния на состояние здоровья в зоне ОФ и освобождение от трудоемкого рутинного труда.

Приложение В

Оценка величины снижения ущерба от выбросов вредных веществ при автоматизации

Обозначим через Y_T — ущерб окружающей среде (ОС) от выбросов ВВ ОФ при традиционном (ручном) планировании и управлении, а Y_A — соответственно при автоматизации управления.

Требуется оценить Y_T , Y_A и $\Delta Y = Y_T - Y_A$. Согласно типовой методике [224, 225, 226, 227], оценка ущерба Y (грн/год), причиняемого выбросами ВВ ОФ атмосфере (аналогично другим экосредам), определяется по формуле:

$$Y = w\beta FM \text{ или } Y = aM, \quad (B.1)$$

где $a = w\beta F$, $w = 4.8$ грн/т (на 1.12.96г.) — размерный коэффициент, переводящий условную оценку выброса в денежную (показатель уровня развития экономики); β — безразмерный показатель опасности загрязнения атмосферы над различными территориями (т.е. показатель, характеризующий зону воздействия выбросов); F — поправка, учитывающая характер рассеивания примесей в атмосфере, т.е. величина, характеризующая источник и условия выброса, которая вычисляется для случая газообразных примесей и легких мелкодисперсионных частиц со скоростью оседания от 1.0 до 20.0 м/с как

$$F = \left[\frac{1000^c}{60^c + fH} \right]^{1/2} \cdot \frac{4^c/c}{1^c/c + V}, \quad (B.2)$$

где V — среднегодовой модуль скорости ветра,

H — высота (м) устья источника выброса, $f = 1 + (t_n^o - t_{0c}^o) / 75^o$;

t_n^o — среднегодовая температура у устья источника, а t_{0c}^o — среднегодовая температура ОС в зоне источника;

M — приведенная годовая масса (усл.т/год) выброса от источника, которая вычисляется по формуле:

$$M = \sum_{v=1}^n A_v m_v. \quad (B.3)$$

Здесь A_v — показатель относительной агрессивности v -го компонента, а m_v — выброс v -го компонента, т/год, n — число компонент.

Обозначим через m_v^T, m_v^A — масса выброса v -го компонента при традиционном и автоматическом управлении; M^T, M^A — соответственно годовые массы выбросов.

Тогда

$$\Delta Y = w\beta F (M^T - M^A), \quad (B.4)$$

где M^T и M^A определяются по формуле (B.3).

Обогатительную фабрику как объект экологического мониторинга и управления можно представить как источник масс выбросов ВВ многими установками в ОС, т.е.:

$$M_{\text{ОФ}} = M_{\text{КУ}} + M_{\text{АС}} + M_{\text{СУ}} + M_{\text{ПО}}, \quad (B.5)$$

где $M_{\text{ОФ}}$ — общегодовая суммарная масса (т/год) выбросов вредных веществ (ВВ) в ОС одной ОФ; $M_{\text{КУ}}$, $M_{\text{АС}}$, $M_{\text{СУ}}$, $M_{\text{ПО}}$ — соответствующие годовые массы выбросов ВВ котельными установками (КУ), аспирационными системами (АС), сушильными установками (СУ), породными отвалами (ПО), причем каждую из них можно определить по формуле (ПЗ.3) при соответствующем n .

Поскольку сушильное отделение ОФ является наиболее опасным источником загрязнения ОС, рассмотрим оценку ΔY в этом случае, т.е. определим:

$$M_{\text{СУ}}^T = \sum_{v=1}^4 A_v m_{\text{СУ},v}^T, M_{\text{СУ}}^A = \sum_{v=1}^4 A_v m_{\text{СУ},v}^A. \quad (\text{В.6})$$

Заметим, что сушильным отделением (топка+сушка) выбрасываются следующие основные ВВ: пыль (C_1), SO_2 (C_2), CO (C_3), NO_x (C_4) и, соответственно, $A_1=40$, $A_2=22$, $A_3=1$, $A_4=41.1$, $A_5=54.8$ для H_2S .

Величины $\{m_{\text{СУ},v}^T\}$ можно вычислить на основании данных, приведенных в [13], как $\{800.7; 577.8; 450; 17.2\}$.

Тогда суммарная масса выбросов (т/год) одного сушильного отделения равна

$$M_{\text{СУ}}^T = 800.7 \cdot 40 + 577.8 \cdot 22 + 450 \cdot 1 + 17.2 \cdot 41.1 = 45896.52.$$

Относительный вклад каждого v -го компонента в общий приведенный выброс ВВ (относительный ущерб) сушильной установкой окружающей среде можно определить как:

$$\delta_1 = \frac{800.7 \cdot 40}{45896.52} \times 100\% = 1.68\%, \delta_2 = \frac{577.8 \cdot 22}{45896.52} \times 100\% = 27.6\%,$$

$$\delta_3 = \frac{450 \cdot 1}{45896.52} \times 100\% = 0.98\%, \delta_4 = \frac{17.2 \cdot 41.1}{45896.52} \times 100\% = 1.52\%$$

Аналогично, $M_{\text{КУ}}^T = 2916.96$; $M_{\text{АС}}^T = 3456$, $M_{\text{НО}}^T = 867.46$.

Для оценки α из (В.1) воспользуемся следующими данными: $H = 30$ м, $t_n = 41^\circ$, $t_{\text{ос}} = 20^\circ$, $V = 4$ м/с, $\beta = 3.0$, $w = 4.8$ грн/т. Тогда $f = 1.28$, $F = 2.56$ и $a = 36.86$.

Таким образом, $Y_{\text{СУ}}^T = 36.86 \cdot 45896.52 = 1961745.7$ [грн/год].

Определим теперь $M_{\text{СУ}}^A$ и $Y_{\text{СУ}}^A$, соответственно, в случае наиболее неблагоприятной линейной модели.

В качестве исходных данных рассмотрим работу сушильного отделения ЦОФ "Криворожская", т.е. время работы - $T_{\text{СУ}} = 1740$ ч/год, $G_T^* = 1.982$ т/ч — расход сжигаемого топлива, $Q_1 = 46$ т/ч = 80040 т/год — масса просушиваемого угля; $W_1 = 0.31$ (31%) — влажность высушиваемого угля; $W_2^P = 0.14$ и $W_2^A = 0.12$ — влажность высушенного угля при ручном и автоматизированном управлении; $t^* = 655^\circ\text{C}$ — номинальная температура в топке; $\eta_s = 0.83$ - КПД пылеулавливаемой системы; $t^P = 686.3^\circ\text{C}$, $t^A = 656.6^\circ\text{C}$; показатель агрессивности есть $A_1 = 40$ (для пыли), $A_2 = 41.1$ (для оксидов азота), $A_4 = 32.1$ (для SO_2).

Определим минимально возможную оценку изменения массы выброса каждого компонента по линейной аппроксимирующей модели из приложения Б.

Пыль:

а) от сжигания топлива в топке для получения сушильного агента:

$$\Delta m'_{p,1} = T_{„y} \cdot \bar{\alpha}_1 (t^p - t^*) = 1740 * 9.87 * 10^{-7} * 31.3 = 0.054 \text{ т},$$

$$\Delta m'_{A,1} = T_{„y} \cdot \bar{\alpha}_1 (t^A - t^*) = 1740 * 9.87 * 10^{-7} * 1.6 \approx 0.003 \text{ т}.$$

б) от сушки угля

$$\Delta m''_{p,1} = Q_2^p (1 - \eta_s), Q_2^p = Q_1 [1 - (W_1 - W_2^p)] = 80040 * 0.83 = 66433.2,$$

$$\Delta m''_{p,1} = 0.17 * 66433.2 = 11293.6 \text{ т},$$

$$\Delta m''_{A,1} = Q_2^A (1 - \eta_s), Q_2^A = Q_1 [1 - (W_1 - W_2^A)] = 0.81 * 80040 = 64832.4,$$

$$\Delta m''_{A,1} = 0.17 * 64832.4 = 11021.5 \text{ т}.$$

Итак, $\Delta m_{p,1} = \Delta m'_{p,1} + \Delta m''_{p,1} = 11293.654,$

$$\Delta m_{A,1} = \Delta m'_{A,1} + \Delta m''_{A,1} = 11021.503,$$

$$\delta m_1 = \Delta m_{p,1} - \Delta m_{A,1} = 272.151 \text{ т}.$$

Для трех агрегатов сушильной установки ЦОФ "Криворожская" уменьшение общей массы выбросов при автоматизации равна $3 * \delta m_1 = 816.453 \text{ т}$.

Оксиды азота (NOx)

$$\Delta m_{p,2} = 1740 \cdot \bar{\alpha}_2 (t^p - t^*) = 1740 * 6.96 * 10^{-6} * 31.1 = 0.379056 \approx 0.379 \text{ т},$$

$$\Delta m_{A,2} = 1740 \cdot \bar{\alpha}_2 (t^A - t^*) = 1740 * 6.96 * 10^{-6} * 1.6 = 0.019 \text{ т},$$

$$\delta m_2 = \Delta m_{p,2} - \Delta m_{A,2} = 0.36 \text{ т}, \text{ а для 3-х агрегатов - } 1.08.$$

Сернистый ангидрид (SO₂)

$$\delta m_4 = T_{CV} \cdot K_2 \cdot \bar{\alpha}_4 \cdot G_T^* = 1740 * 0.0726 * 0.068 * 1.982 = 17.025 \text{ т}.$$

Для 3-х агрегатов соответственно получим: 51.075 т.

Следовательно, только по трем ВВ, выбрасываемым сушильным отделением в атмосферу уменьшение величины ущерба (предотвращенного) согласно формуле (В.4), равно:

$$\begin{aligned} \Delta Y &= w \beta F (A_1 \delta m_1 + A_2 \delta m_2 + A_4 \delta m_4) = \\ &= 36.86 * (40 * 272.151 + 41.1 * 0.36 + 32.1 * 17.025) = \\ &= 36.86 * (10886.04 + 14.796 + 546.5) = 36.86 * 11447.3 = 421947.47 \text{ грн/год}. \end{aligned}$$

Приложение Д

Оценка влияния автоматизации транспортных процессов на снижение уровня загрязнения ОС ОФ

Рассмотрим вопрос оценки влияния автоматизации планирования и управления ж/д транспортными средствами на экологическое состояние атмосферного воздуха в зоне ОФ, т.е. определим величину уменьшения экологического ущерба ОС от выбросов вредных веществ (ВВ) только маневровыми тепловозами.

В качестве примера рассмотрим работу транспортного узла ЦОФ "Самсоновская", который обслуживает тепловоз типа ТЭМ2М-УМ с дизелем 3А-6Д49. Согласно [240], для расчетов использованы следующие исходные данные: номинальная мощность дизеля (N_H , кВт) равна 882; удельные выбросы ВВ(г/кВт ч): оксидов азота $E_{NO_x} = 18.88$, оксида углерода $E_{CO} = 3.28$, сажи $E_C = 0.474$; средний эффективный КПД за цикл испытаний $\eta_{ц} = 0.352$; общегодовое время работы транспортного узла $T_{ту} = 300$ дн.

Для определения ущерба $У_t$ и его изменения вычислим следующие показатели:

- средняя эффективная мощность за цикл испытаний:

$$\ddot{N}_{ц} = 0.355N_H = 0.355 \cdot 882 = 313.11;$$

- часовой расход топлива за цикл испытаний, кг/ч:

$$G_{nw} = 3600 \cdot \ddot{N}_{ц} / (\eta_{ц} \cdot N_H) = 3600 \cdot 313.11 / (0.352 \cdot 42500) = 75.3,$$

где N_H — низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;

- годовой расход топлива определим исходя из 10-часового рабочего времени тепловоза, т.е. $G_{т, год} = 300 \cdot 10 \cdot 75.3 = 225.9$ т/год;

- **удельный эффективный расход топлива за испытательный цикл, кг/кВт**

ч:

$$g_{ц} = G_{тц} / \ddot{N}_{ц} = 75.3 / 313.11 = 0.24;$$

- удельные показатели выбросов на кг сожженного топлива, г/кг:
 $E'_{NO_x} = E_{NO_x} / g_{ц} = 18.88 / 0.24 = 78.7$; $E''_{CO} = E_{CO} / g_{ц} = 3.28 / 0.24 = 13.7$;

$$E''_C = E_C / g_{ц} = 0.474 / 0.24 = 1.975.$$

Фактическое время обслуживания (простоя) для ЦОФ "Самсоновская" в среднем составляет 2,8 ч, а при автоматизации учета, планирования и оперативного управления равно 2.42, т.е. меньше в среднем на 13.56% ($\delta = 0.1356$).

Следовательно, годовой выброс (т/год) указанных ВВ составит, соответственно:

$$m_{NO_x} = E''_{NO_x} \cdot G_{т, год} / 1000 = 78.7 \cdot 0.2259 = 17.78;$$

$$m'_{NO_x} = m_{NO_x} \cdot (1 - \delta) = 17.78 \cdot 0.8644 = 15.37,$$

а величина его снижения равна:

$$\Delta m_{NO_x} = m_{NO_x} - m'_{NO_x} = m_{NO_x} \cdot \delta = 17.78 \cdot 0.1356 = 2.41.$$

Аналогично:

$$m_{CO} = 13.7 \cdot 0.2259 = 3.09; \quad \Delta m_{CO} = m_{CO} \cdot \delta = 3.09 \cdot 0.1356 = 0.42;$$

$$m_C = 1.975 \cdot 0.2259 = 0.45; \quad \Delta m_C = m_C \cdot \delta = 0.45 \cdot 0.1356 = 0.06.$$

Приведенная годовая масса (т/год) приращения (уменьшения) выбросов по трем рассматриваемым ВВ равна

$$\Delta M = A_1 * \Delta m_{NOx} + A_2 * \Delta m_{CO} + A_3 * \Delta m_C = 41.1 * 2.41 + 1 * 0.42 + 200 * 0.06 = 111.47$$

где $\{A_i\}$ — показатели агрессивности ВВ.

Таким образом, величина уменьшения ущерба от выбросов ВВ в данном случае равна:

$$\Delta U_T = a * \Delta M, \text{ где } a = w * \beta * F = 4.8 * 3 * 10 = 144.$$

То есть $\Delta U = 144 * 111.47 = 16051.82$ т/год.

Аналогичные расчеты выполнены и по ЦОФ "Суходольская".

Приложение Ж

Результаты компьютерного моделирования работы транспортного узла ОФ

Для примера рассмотрена работа транспортного узла ЦОФ "Самсоновская". При этом использовались следующие входные параметры: время моделирования — 100 дней; емкость подъездных путей — 345 вагонов; емкость складов — 1 млн тонн; скорость разгрузки- погрузки — 20т/ч; количество разгрузочных и погрузочных механизмов — 10; время сортировки равномерное на [0.01; 0.02] ваг/час; скорость выбора сырья — 30 т/ч; скорость выбора из резервного склада — 25т/ч.

Данные по шахтам поставщикам

Шахта	Начальные значения (т)		Вероятность поступления в течение суток	Количество вагонов в группе
	осн. склад	резервн. склад		
Дуванская	456789	6758	0.5	[5,10]
Чеснокова	5	464	0.2	от 12 до 15
Баракова	5321	65767	0.1	от 2 до 7
Лютюкова	6541	2141	0.4	от 3 до 13

Параметры готовой продукции

Вид продукции	Скорость поступл. на склад (т/ч)	Начальное количество в (т)	Потребность (приоритет)
марка Ж	50	4365	2
марка ГЖО	30	478469	4
промпродукт	43.9	68	3
марка КС	5.9	345	1

Результаты компьютерного моделирования (планирования):

1. Наличие сырья на складах: Дуванская — 191, Чеснокова — 961, Баракова — 0, Лютюкова — 0.

2. Наличие на складах готовой продукции: марки Ж — 121667, ГЖО — 1151, Промпродукт — 58823, КС — 14357.

3. На путях — 74 вагона, 35 — на сортировке, 39 — на погрузке, 28 — с сырьем, 46 — пустых.

4. Всего прошел через систему 2021 вагон с продуктом.

5. Количество обогащенного концентрата (тонн): марки Ж — 120000, ГЖО — 72000, Промпродукт — 12160, КС — 14160.

6. Реализовано: ГЖО — 73260, промпродукт — 48000.

7. Результаты моделирования практически адекватны статистическим данным по наблюдениям на Самсоновской ЦОФ, а именно: среднее время пребывания вагонов в системе — 2.42 ч; среднее время простоя — 0.47 ч; коэффициент занятости (загруженности) механизмов — 0.95.

Результаты имитационного моделирования на период прогнозирования (планирования) — 120 дней:

1. Состояние складов сырья (количество в основных и в резервных складах, в тоннах): всего 1218.32 тонн, из них по шахтогруппам "Дуванная" — 78.28:0.00, "Чеснокова" — 169.25:0.00, "Баракова" — 0.00:0.00, "Лютикова" — 970.79:0.00.

2. Состояние складов готовой продукции: всего 233358.60 тонн, из них по видам: марка Ж — 145675.99 марка ГЖО — 429.33 промпродукт — 70063.52 марка КС — 17189.77.

3. Подвижной состав на ЦОФ

3.1. Количество вагонов в системе: всего вагонов 44, из них на фазе сортировки — 44; на фазе разгрузки — 0, на фазе погрузки — 0; вагонов с сырьем — 28 с концентратом — 6, пустых — 10.

3.2. Вагоны, прошедшие через систему: всего вагонов — 2438 из них пустых — 0, марка Ж — 0, марка ГЖО — 1478, промпродукт — 960, марка КС — 0.

3.3. Вагоны в очереди. Всего в очереди — 0.

4. Производство

4.1. Количество переработанного сырья: всего 296640.00 тонн, из них по шахтогруппам "Дуванная" — 86400.00, "Чеснокова" — 115200.00, "Баракова" — 72000.00, "Лютикова" — 23040.00.

4.2. Количество обогащенного концентрата: всего 373824.00 тонн; из них по видам марка Ж — 144000.00 тонн, марка ГЖО — 86400.00 тонн, промпродукт — 126432.00 тонн, марка КС — 16992.00 тонн.

4.3. Реализовано концентрата; всего 146280.00 тонн, марка Ж — 0.00 тонн, марка ГЖО — 88680.00 тонн, промпродукт — 57600.00 тонн, марка КС — 0.00 тонн.

4.4. Среднее время пребывания вагона в системе — 2.3 час.

4.5. Среднее время простоя вагона — 0.21 час.

4.6. Коэффициент загруженности погрузочно-разгрузочных механизмов — 0.80.

Приложение 3

Динамические модели прогнозирования состояния атмосферы и их реализации на ПЭВМ

1. В общем виде дискретную динамическую модель концентрации вредных веществ (ВВ) $\{C(t)\}$ в атмосфере можно представить в виде:

$$C(t) = a_1 C(t-1) + a_2 C(t-2) + a_3 C(t-3) + b_0 + \sum_{i=1}^{k-1} b_i x_{t,i} + b_k + \sum_{j=0}^{\infty} \lambda^j x_{t-j,k} + u_t, \quad (3.1)$$

где $C(t)$ — величина концентрации ВВ в момент времени t ;

$x_{t,i} \equiv x_i(t)$ — i -й фактор внешнего влияния на $C(t)$;

$u_t \equiv u(t)$ — внешнее случайное возмущение;

$0 \leq \lambda \leq 1$; a_1, \dots, a_3 и $\{b_0, b_1, \dots, b_k\}$ — параметры модели, подлежащие оценке.

В модели (3.1) u_t коррелированы, т.е. u_t представляет собой "цветной" шум модели:

$$u_t = \rho u_{t-1} + \varepsilon_e, \varepsilon_e \in N(0,1), \quad (3.2)$$

2. Меню программного пакета состоит из следующих пунктов:

- ввод данных.
- метод наименьших квадратов (МНК).
- AR1 (авторегрессионная модель 1-го порядка).
- AR2 (авторегрессионная модель 2-го порядка).
- DL1 (модель с запаздыванием 1-го порядка).
- вывод результата (графика).

Файл исходных данных 00.dat в программном пакете формируется в виде:

	ip	in1	iq
C			
X1			
Xk	..... it		

Здесь it — общая длина записей (векторов), причем $it \geq ip + in1 + iq$;

ip — число пропущенных наблюдений (в начале записи); $in1$ — число наблюдений, по которым строится динамическая регрессионная модель;

iq — число шагов прогноза; $ik = k+1$ — число независимых (влияющих) переменных (включая $x_0 \equiv 1$).

Все эти параметры, а также параметр-индикатор

$$icod = \begin{cases} 0 & a_1 = a_2 = a_3 = 0, \\ 1 & a_2 = a_3 = 0, \\ 2 & \alpha_3 = 0, \\ 3 & \alpha_1 \neq 0, \alpha_2 \neq 0, \alpha_3 \neq 0 \end{cases}$$

вводятся в окне ввода программного пакета.

Заметим, что $in1 \geq ik + icod + 2$.

3. Варианты выбора частного вида модели из (3.1):

- МНК: ошибки ut некоррелированы и $\lambda=0$;

-AR1: автокорреляционный процесс 1-го порядка при автокоррелированных ошибках и $\lambda=0$;

-AR2: автокорреляционный процесс 2-го порядка при автокоррелированных ошибках и $\lambda=0$;

- DL1: $\lambda \neq 0$ и кроме этого: 1) ошибки некоррелированы; 2) ошибки автокоррелированы.

Примечание. В случае AR1 возможны два варианта выбора начальных значений: фиксированные начальные значения по Кокрену-Ократту; стохастические начальные значения.

4. Точностные характеристики для модели (3.1) определяются по формулам:

1) среднее ошибок прогноза

$$\frac{1}{iq} \sum_{i=1}^{iq} (y_i - \hat{y}_i),$$

где y_i — точное значение на этапе прогноза, \hat{y}_i — прогнозное значение;

2) среднее абсолютных ошибок прогноза:

$$\frac{1}{iq} \sum_{i=1}^{iq} |y_i - \hat{y}_i|;$$

3) оценка дисперсии ошибок прогноза:

$$\frac{1}{iq} \sum_{i=1}^{iq} (y_i - \hat{y}_i)^2 ;$$

4) среднеквадратичная ошибка прогноза:

$$\sqrt{\frac{1}{iq} \sum_{i=1}^{iq} (y_i - \hat{y}_i)^2} ;$$

5) коэффициент неравенства Тейла:

$$T = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{iq} (y_i - \hat{y}_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{iq} \hat{y}_i^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^{iq} y_i^2}}.$$

Данный коэффициент изменяется от 0 до 1. Если он равен 0, то прогноз хорош, а если 1 — то очень плох;

6) R-черта-квадрат (\bar{R}^2). Пусть $e_i = y_i - \hat{y}_i$. Тогда:

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{in1-1} e_i}{(in1 - ik)\sigma_y^2}, \sigma_y^2 = \frac{1}{in1 - 1} \sum_{i=1}^{in1} \left(y_i - \frac{1}{in1} \sum_{i=1}^{in1} y_i \right)^2,$$

где σ_y^2 — дисперсия входных данных y_1, \dots, y_{in1} ;

7) статистика Дарбина - Уотсона (DW):

$$DW = \frac{\sum_{i=1}^{in1-1} (e_{i+1} - e_i)^2}{\sum_{i=1}^{in1} e_i^2};$$

8) оценка дисперсии.

3.1. Результаты расчета долгосрочного прогноза

1. Модель для оценивания имеет вид:

$$C_t = b_1 + b_2 x_{t,2} + b_3 \sum_{i=0}^{\infty} \lambda^i x_{t-i,3} + u_t,$$

где u_t задается в соответствии с автокоррелированным процессом:

$$u_t = \rho u_{t-1} + \varepsilon_t.$$

При этом положим: $x_{t,3} = x_{t-1,3}$.

2. Приняты следующие исходные данные [92]:

Количество наблюдений N равно 18, а остальные данные представлены в таблице:

N	C	x ₂	x ₃
1	0.8990	0.8486	0.8193
2	0.9440	0.8911	0.8486
3	1.0180	0.9596	0.8911
4	1.1060	1.0118	0.9596
5	1.1812	1.0697	1.0118
6	1.2464	1.1254	1.0697
7	1.3529	1.2104	1.1254
8	1.4504	1.2860	1.2104
9	1.5247	1.3504	1.2860
10	1.5946	1.4121	1.3504
11	1.6921	1.4727	1.4121
12	1.8213	1.5489	1.4727
13	1.9511	1.6422	1.5489
14	2.0411	1.7430	1.6422
15	2.1712	1.8422	1.7430
16	2.3321	1.9610	1.8422
17	2.4929	2.0971	1.9610
18	2.6404	2.2343	2.0971

3. Результаты моделирования и прогноза для модели типа DL1+CC. Оценка коэффициента автокорреляции $\rho = 0.2342$ и для различных значений параметра $\lambda = 0.1 \dots 0.9$ оценки регрессионных коэффициентов можно представить в виде:

λ	b_1	b_2	b_3
0.1	-1905.48	1.1175	0.1545
0.5	-2037.29	0.8848	0.2248
0.9	-2646.68	0.7376	0.0908

При длине прогноза = 4 и оптимальной оценке значения $\lambda = 0.9$ прогнозируемые значения есть: $C_{19}=2.80184$, $C_{20}=2.9488$, $C_{21}=3.20043$, $C_{22}=3.44522$. Ошибки прогноза по шагам ($\Delta_i := |C_i - \hat{C}_i|$) равны: 0.05514, 0.08048, 0.10573,

0.06932. Среднее значение ошибок прогноза: $\bar{\Delta} = \frac{1}{4} \sum \Delta_i = 0.07767$, а

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{4} \sum \Delta_i^2} = 0.07984.$$

4. Результаты прогнозирования по частным моделям обобщенной динамической модели (ОДМ) представлены в следующей таблице:

№ шага прогноза	Истинные значения	AP(2)	AP(1)+CC	DL1	DL1+AP(1)	DL1+CC
1	2.7467	2.7934	2.7818	2.7629	2.7516	2.8018
2	2.9144	2.9963	2.9813	2.9866	2.9448	2.9948
3	3.0947	3.2176	3.1943	3.1646	3.1524	3.2004
4	3.3759	3.4676	3.4543	3.4481	3.4452	3.4452

Точностные характеристики прогноза для различных частных моделей

№ шага прогноза	Тип модели прогноза									
	AP(2)		AP(1)+0,6 CC(1)		DL1		DL1+AP(1)		DL1+CC(1)	
	Δ	$\delta, \%$	Δ	$\delta, \%$	Δ	$\delta, \%$	Δ	$\delta, \%$	Δ	$\delta, \%$
1	.0467	1.70	.0351	1.28	.0162	0.59	.0049	0.18	.0551	1.02
2	.0819	2.81	.0669	2.30	.0722	2.48	.0304	1.04	.0804	1.03
3	.1229	3.97	.0996	3.22	.0699	2.26	.0577	1.86	.1057	1.03
4	.0917	2.72	.0784	2.32	.0722	2.14	.0693	2.05	.0693	1.02
$\bar{\Delta}, \bar{\delta}$	.0858	2.80	.0700	2.28	.0576	1.88	.0405	1.28	.0789	1.03
δ	0.090		0.074		0.062		0.048		0.0798	

Примечание. Здесь использованы следующие формулы вычисления точности прогноза:

$$\Delta_i = |C_{t+i} - \hat{C}_{t+i}|, i = \overline{1,4}; \bar{\Delta} = \frac{1}{4} \sum_1^4 \Delta_i,$$

$$\delta_i = \frac{\Delta_i}{C_{t+i}}, \bar{\delta} = \frac{1}{4} \sum_1^4 \delta_i, \delta = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_1^4 \Delta_i^2} - \text{СКО}.$$

3.2. Результаты краткосрочного прогноза по марковской модели

В качестве примера рассмотрим прогнозирование максимального загрязнения атмосферного воздуха пылью от факельного источника.

Исходные данные [223]: высота источника, $H=100\text{м}$; начальное значение в реперных точках: $C^0=1\text{ мг/м}^3$ при $r = 1000\text{ м}$; $C^0=1.8\text{ мг/м}^3$ при $r = 2000\text{ м}$.

Прогнозные (по алгоритму метода группового учета аргументов — $C_{\text{МГУА}}$ и по предложенной марковской модели — $C_{\text{М}}$) и действительные значения концентрации пыли ($C_{\text{и}}$, мг/м^3) в зависимости от расстояния от источника загрязнения — $r, \text{м}$) представлены в виде:

r	$C_{\text{и}}$	$\hat{C}_{\text{мгуа}}$	$C_{\text{м}}$
1500	—	2.42	2.26
2000	2.60	2.60	2.53
2500	—	2.50	2.18
3000	1.80	2.28	1.87
3500	—	1.80	1.63
4000	—	1.48	1.47
4500	—	1.22	1.31
5000	1.25	1.02	1.26
5500	—	0.84	1.11
6000	—	0.70	0.85
6500	—	0.63	0.69
7000	0.53	0.57	0.56

Оценка точности по СКО ($\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_{\text{и}}^i - \hat{C}^i)^2}$) по МГУА $\sigma = 0.25\text{ мг/м}^3$, а по

марковской модели $\sigma = 0.104\text{ мг/м}^3$.

Рассмотрим также второй вариант расчета краткосрочного прогноза состояния атмосферы по марковской модели по следующим данным.

Пусть происходит выброс загрязнителя в зоне исследуемой области с координатами $x = 250\text{м}$, $y = 500\text{м}$, $z = 50\text{м}$ и при этом пусть даны: интенсивность 20 ед./ч; коэффициент диффузии — 0.9; коэффициент вертикального дрейфа — 0.5; коэффициент поглощения почвой — 0.2, а в качестве начальных значений примем следующие величины: направление ветра — 1.5 от севера; температура — 4 °С; давление — 750 миллибар; скорость ветра — 4 м/с.

Произведен расчет на 10 часов с шагом 1 час при нулевом начальном значении загрязнения. Получены следующие значения прогноза концентрации загрязнителя:

Точка области			Концентрация загрязнителя
X	Y	Z	
150	250	50	0.8
350	400	50	1.9
350	400	100	0.72
1000	1000	0	0.28
50	100	0	0.16
50	100	100	0.08

Полученный результат согласуется с реальной ситуацией — концентрация выше по направлению ветра и ближе к земле, т.к. загрязнитель имеет положительный коэффициент вертикального дрейфа. При отсутствии ветра распределение загрязнителя имеет функциональный вид типа плотности нормального распределения. В силу учета ветра, а также случайных флуктуаций направления скорости ветра и температуры получается несколько более "размытая" зависимость загрязнителя от координат.

3.3. Прогнозирование состояния атмосферы по модели с автокоррелированным возмущением и распределенным лагом

Для расчета использованы данные компьютерного моделирования. Итак, входными параметрами являются: длительность периода наблюдения — 24 усл.ед.; длительность прогноза — 7 шагов; количество объясняющих переменных — 3; результирующих переменных — 1. Производились наблюдения за концентрацией загрязнителя, температурой, скоростью и направлением ветра. Концентрация загрязнителя рассматривалась и как объясняющая переменная с запаздыванием на 1 и 2 шага. При этом получен прогноз концентрации с использованием метеорологического прогноза и следующие точностные характеристики: при средней величине прогноза (усреднение прогнозов по 7 шагам), равной $\frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 Y_{t+i} = 40$, дисперсия $\sigma^2 = 6.28$, а статистика Дарбина — Уотсона = 2.09.

Таблица К.2

Аналитическое выражение корреляционной функции ($\alpha_0=0.00001$)

Номер машин-ного эксперимента	Оценка корреляционной функции	Наименьшее значение СКО	Аналитическое выражение корреляционной функции
1	2	3	4
1	$\widehat{R}_{\mathcal{Q}\mathcal{Q}}(\tau)$	0.00131	$0.268 \exp[-0.0058|\tau|^{1.922}](\cos 0.276\tau + 2.424 \sin 0.0136|\tau|) + 0.724 \exp[-0.299|\tau|^{1.922}] \cos 0.6005\tau$
2	$\widehat{R}_{\mathcal{Q}'\mathcal{Q}'}(\tau)$	0.0039	$0.622 \exp[-0.0002\tau^{3.092}](\cos 0.2896\tau - 0.4545 \sin 0.462\tau)$
3	$\widehat{R}_{A_{\Pi}^- A_{\Pi}^-}(\tau)$	0.0009	$0.992 \exp[-0.129|\tau|^{0.933}] \cos 0.128\tau$
4	$\widehat{R}_{\gamma A_{\Pi}^-}(\tau)$	0.0023	$0.672 \exp[-0.00087\tau^{2.642}] \cos 0.1839\tau$
5	$\widehat{R}_{\gamma^{\cdot\cdot} A_{\Pi}^{\cdot\cdot}}(\tau)$	0.00099	$0.992 \exp[-0.1288|\tau|^{0.981}] \cos 0.1268\tau$
6	$\widehat{R}_{\gamma^{\cdot\cdot} \gamma^{\cdot\cdot}}(\tau)$	0.0008	$0.626 \exp[-0.0015\tau^{2.664}] \cos 0.1598\tau$
7	$\widehat{R}_{n_n}(\tau)$	0.0065	$0.992 \exp[-0.178|\tau|^{2.062}] \cos 0.5086\tau$
8	$\widehat{R}_{\gamma_n}(\tau)$	0.0051	$0.211 \exp[-0.000042\tau^{2.968}] \cos 0.3299\tau$
9	$\widehat{R}_{\gamma\gamma}(\tau)$	0.0034	$0.992 \exp[-0.196|\tau|^{0.799}] \cos 0.218\tau$
10	$\widehat{R}_{n\gamma}(\tau)$	0.0071	$0.365 \exp[-0.64\tau^{0.000001}] \cos 0.0645\tau$

Таблица К.3

Импульсные переходные функции

Канал управления	Коэффициенты импульсной переходной функции									
	h_0	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9
$n \rightarrow \gamma_o$	.0038	-.009	.0150	-.026	.03822	.0033	-.0096	-.006	.0136	–
$\mathcal{Q}_n^c \rightarrow \gamma_o$	.0045	-.008	.0116	-.014	.01751	-.018	.0178	-.014	.0092	-.004
$A_c \rightarrow \gamma_o$	38.69	-17.8	-26.1	74.90	-13.11	-75.8	10.08	50.26	-15.99	-17.32

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МЕТОДОЛОГИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

- 1.1. Концепция эколого-экономического управления производственно системой в условиях нестабильной экономики
- 1.2. Промышленное предприятие непрерывного типа производства как объект ЭЭМУ
- 1.3 Эколого-экономическое управление промышленным предприятием и его интеллектуализация
- 1.4. Вопросы автоматизации эколого-экономического управления промышленными предприятиями (на примере ОФ)
- 1.5. Моделирование и современные информационные технологии в социально-экономических и экологических системах

РАЗДЕЛ 2. ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКОВ

- 2.1. Динамическая модель управления трансформационной экономикой в условиях неопределенностей и рисков
- 2.2. Интегральная нелинейная динамическая эколого-экономическая модель ПЭС
- 2.3. Нелинейная стохастическая эколого-экономическая модель управления ПЭС
- 2.4. Моделирование влияния новых (инновационных) технологий на производственно-экономическую систему
- 2.5. Динамическое моделирование и управление рисками в условиях смешанной информации
- 2.6. Синергетическая модель управления эколого-экономической безопасностью предприятия в условиях нестабильности 90

РАЗДЕЛ 3. ИНТЕГРАЦИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПЭС

- 3.1. Концепция, принципы создания и структура интегрированных интеллектуальных компьютеризованных систем управления
- 3.2. Синтез интегрированной автоматизированной системы организационно-экономического и экологического управления
- 3.3. Автоматизация оперативного планирования и диспетчерского управления ПЭС
- 3.4. Интегрированная система эколого-экономического мониторинга, управления и принятия решений
- 3.5. Интеллектуальное управление в ИАСУ ПС в условиях смешанной неопределенности
- 3.6. Интеллектуальная система поддержки принятия решений

диагностики кризисного состояния ПЭС

3.7. Интеллектуальная система моделирования и управления эколого-экономическими рисками

3.8. Интегральная модель интеллектуального управления

производственно-экономической системой, основанного на знаниях

3.9. Нечеткая модель ПЭС в условиях коалиционного управления

РАЗДЕЛ 4. МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ В ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ПЭС

4.1. Принципы выбора и формирования сложных критериев управления и принятия решений

4.2. Обобщенный технолого-экономический и экологический критерий управления ПЭС

4.3. Локальные критерии управления ПЭС

4.4. Критерии управления ПЭС с типовыми технологическими процессами

4.5. Оптимизация управления в системе эколого-экономического мониторинга

4.6. Эколого-экономическое моделирование и оптимизация водопользования в техногенном регионе

РАЗДЕЛ 5. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПЭС

5.1. Автоматизация планирования и управления транспортной системой обогатительных фабрик (ОФ)

5.2. Управление внутренними транспортными потоками

5.3. Эколого-экономическое управление производственно-транспортными потоками ПЭС

РАЗДЕЛ 6. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ В ЗОНЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

6.1. Современные парадигмы моделирования и мониторинга системы “Человек – Окружающая среда” в техногенном регионе

6.2. Математическая модель динамики распространения примеси

6.3. Основные подходы к математическому моделированию состояния окружающей среды в окрестности ПЭС

6.4. Экосреда как управляемый Марковский процесс и его прогноз

РАЗДЕЛ 7. МОДЕЛИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПЭС

7.1. Моделирование технологических схем и процессов

7.2. Экономико-математическая модель технологии обогащения

7.3. Пример моделирования ТС и процессов переработки угля

7.4. Модели процессов обогащения в условиях неопределенности

7.5. Модели эколого-экономического управления процессом сушки угля

РАЗДЕЛ 8. РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
ПРИЛОЖЕНИЯ**

Наукове видання

Рамазанов Султанахмед Курбанович

**ІНСТРУМЕНТИ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧЕСКОГО УПРАВЛЕННЯ
ПРЕДПРИЯТТИЕМ***Монографія*

Віддруковано з оригінал-макету, наданого автором

Підписано до друку _____

Формат 60×84^{1/16} Папір типограф. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. 25.7. Обл.-вид. арк. 26.9.

Тираж 300 екз. Вид. № _____. Замов № _____. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного
університету імені Володимира Даля**Адреса видавництва :** 91034, м. Луганськ, кв. Молодіжний, 20а**Телефон:** 8 (0642) 41-34-12, **факс.** 8 (0642) 41-31-60**E-mail:** uni@snu.edu.ua **http:** www.snu.edu.ua