

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

Криводубский Олег Александрович

**РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИЙ**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами (по отраслям)
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Донецк - 2020

Работа выполнена в ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», г. Донецк.

Научный консультант: доктор технических наук, доцент
Зори Сергей Анатольевич,
ГОУВПО «ДОННТУ» (г. Донецк),
заведующий кафедрой программной инженерии

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Стрижко Леонид Семёнович
(г. Москва)

доктор технических наук, доцент
Шевцов Дмитрий Валерьевич,
ГОУВПО «ДОННУ» (г. Донецк),
заведующий кафедрой прикладной математики и
теории систем управления

доктор технических наук, профессор
Гайдук Анатолий Романович,
ФГАОУ ВО «ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ», Институт радиотехнических
систем и управления (ИРТСУ) (г. Таганрог),
профессор кафедры систем автоматического
управления

Ведущая организация: Донецкий государственный научно-исследовательский и проектный институт цветных металлов (г. Донецк)

Защита состоится «07» сентября 2021 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 01.024.04 при ГОУВПО «ДОННТУ» и ГОУВПО «ДОННУ» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артёма, 58, корп. 1, ауд. 203. Тел./факс: 380(062) 304-30-55, e-mail: uchensovet@donntu.org.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «ДОННТУ» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артёма, 58, корп. 2. Адрес сайта университета: <http://donntu.org>.

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 01.024.04
кандидат технических наук, доцент



Т. В. Завадская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В практике организации производства в странах СНГ предприятия авансируют налоги, что приводит к дефициту оборотных средств во второй половине планового периода. Поэтому предприятия вынуждены обращаться в банки за кредитными средствами, процентная ставка которых ещё более осложняет поддержание рентабельности производства. Эти проблемные вопросы особую остроту приобретают в отношении мелкосерийных (малообъёмных) производств, в которых размер серий неустойчив, сбыт ограничен нерегулярными заказами или договорами, а глубина планового периода, как правило, не превышает месяца. Перечисленные аспекты определяют актуальность задач принятия технико-организационных и управленческих решений для повышения эффективности работы предприятий мелкосерийного производства.

Мелкосерийные производства составляют важную компоненту различных отраслей промышленности и, в частности, металлургической (производство в ограниченных объёмах цветных металлов и сплавов путём переработки производственных отходов смежных отраслей). Это определяет целесообразность создания и применения моделей прогноза себестоимости, оборачиваемости средств в разработке производственной программы металлургического мелкосерийного предприятия и принятия решений с интервалом квантования в сутки. Применительно к данному объекту поставляемое в настоящее время технологическое оборудование комплектуется системами управления процессами извлечения серебра из электролизных растворов, причём заданные технологии рассчитаны на нормализацию свойств сырья, материалов и технологических режимов. Таким образом, поставляемые системы управления технологическими процессами и производствами реализованы как системы с полной информацией об объекте управления.

В условиях конкретных технологий полнообъёмная нормализация свойств применяемых сырьевых продуктов крайне затруднительна и, зачастую, вообще не представляется возможной, что приводит к необходимости настройки, идентификации и пополнения информации об объекте управления, т.е. к реализации систем управления процессами и производствами с неполной информацией об объекте управления. Соответственно, поставляемое с технологическим оборудованием математическое и программное обеспечение таких систем необходимо адаптировать к нестационарным технологическим условиям, возникающим, в частности, при неоднородности свойств сырья. В этой связи проблема развития основ создания систем управления производственными процессами (включая организационные вопросы) в условиях информационной и технологической трансформаций (неопределённостей) является актуальной и имеет важное отраслевое значение для металлургических предприятий.

Степень разработанности темы исследования. Основные положения методик разработки математических моделей в системах управления производствами и технологическими процессами ввели Н.Д. Панкратова, В.М. Томашевский. Разработка алгоритмов многоуровневых систем и постановка задачи оптимального управления сформулированы А.А. Фельбаумом. Идентификация систем освещена в работах П. Эйкхофф. Общие вопросы принципов формирования информационных систем изложены в работе В.А. Дикарёва. Актуальные аспекты задач моделирования в системе планирования и управления на предприятии рассматривались в работе А.Д. Краснощёкова. Принципиальные положения оптимального управления многообъектными многокритериальными системами, структурный синтез и иерархическое уравнивание в интеллектуальных системах управления процессами и производствами рассматривались К.А. Пупковым и Е.М. Вороновым. Однако, результаты этих исследований не позволили решить многие актуальные проблемные вопросы, рассматриваемые в данной диссертационной работе, в связи с тем, что они не учитывают информационную и технологическую трансформации объектов управления.

Состояние темы исследований, анализ существующих проблем, оценка теоретической и практической значимости развития основ создания систем управления производственными процессами в условиях информационной и технологической неопределённостей, направлений и методик разработки новых математических моделей в системах управления производствами и технологическими процессами обсуждались в научно-исследовательских и учебных институтах: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), в частности инжиниринговом центре «Литейные технологии и материалы» при НИТУ «МИСиС», ОАО «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет» (ОАО «Гиредмет»), Всесоюзном научно-исследовательском и конструкторском институте «Цветметавтоматика» (ВНИКИЦМА), ФГБУ «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова» Российской академии наук (ИМЕТ РАН). Сотрудничество с этими научно-исследовательскими организациями выполнялось в рамках НИР, на основании которых разрабатывались АСУТП и АСУП на таких предприятиях, как АО «Щёлковский завод вторичных драгоценных металлов», ОАО «Комбинат Североникель», ООО «Запорожский титано-магниевого комбинат», ОАО «Чистые металлы», ОАО «Артёмовский завод обработки цветных металлов», а также со специалистом Российской Федерации в теории гидрометаллургических процессов д-ром техн. наук, проф. Л.С. Стрижко.

Цель и задачи исследования. Цель работы – развитие теории и практики управления технологическими процессами мелкосерийных производств в условиях информационной и технологической трансформаций на основе совершенствования методологии создания систем управления

производственными процессами и принципов реализации управляющих функций.

Для достижения цели должны быть решены следующие задачи.

1. Провести анализ существующей методологии разработки математических моделей и алгоритмов функционирования систем управления иерархическими производственными структурами и выявить проблемные вопросы в контексте её практической реализации в условиях информационной и технологической трансформаций.

2. Обосновать методологические правила, которые позволяют выполнить обобщённую оценку эффективности управления предприятием и технологическими процессами (на примере мелкосерийного производства цветных металлов).

3. Обосновать и формализовать постановку задач экономико-производственных подразделений иерархической структуры управления и задач управления технологическими процессами в условиях информационной и технологической трансформаций предприятий и критерии оценки эффективности трёхуровневой системы управления технологическим процессом (на примере гидрометаллургического процесса извлечения серебра из загрязнённых растворов).

4. Разработать и исследовать математические модели и алгоритм функционирования трёхуровневой системы управления нестационарным процессом биосорбции серебра как системы с идентификатором в контуре управления, а также математические модели и методики расчёта показателей, составляющих алгоритм принятия решений на технологическом участке извлечения (сорбции) серебра.

5. Обосновать критерии постановки и методы корректного решения задачи оперативного управления величиной себестоимости продукции предприятия мелкосерийного производства и принципы формирования алгоритма функционирования системы управления производственными процессами в условиях информационной и технологической трансформаций.

6. Выполнить техническую реализацию результатов исследований на уровне промышленных испытаний и опытно-промышленной эксплуатации объекта и дать оценку эффективности предложенных технических и организационных решений.

Объект исследования – система управления процессами и производствами.

Предмет исследования – методы, модели и технологии математического моделирования, алгоритмы функционирования систем управления технологическими процессами мелкосерийного производства в условиях трансформации возмущающих факторов.

Научная новизна.

1. Получила дальнейшее развитие методология представления систем управления процессами и производствами в трёхмерном пространстве,

основанная на комплексном учёте технико-экономических характеристик многоуровневых объектов управления, что позволяет создать структуру интегрированной системы управления процессами и производствами и обеспечить её эффективное функционирование в условиях информационной и технологической трансформаций процессов и производства.

2. Впервые дано обоснование и формализация правил создания трёхуровневой системы управления процессами и производствами, которыми предусмотрено комплексное решение технологических и экономических задач, что позволяет повысить экономические показатели технологического процесса на производственном участке электролизного извлечения серебра из растворов.

3. Обоснованы новые модели прогноза плановых показателей мелкосерийного производства, отличающиеся функцией учёта расчётных показателей заказов на сырьевые материалы и повышающие эффективность их переработки в производстве, что позволяет принимать решения в условиях технологической трансформации.

4. Впервые предложена методология обоснования критериев оценки качественных показателей функционирования системы управления величиной себестоимости продукции в условиях прокатки цветных металлов и сплавов, содержащая процедуру оценки оперативной информации о технологических и экономических показателях производства в динамике трансформации деятельности предприятия.

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в раскрытии закономерностей построения структуры и разработки алгоритмов функционирования многоуровневой системы управления процессами производства и технико-экономическими показателями работы предприятия в условиях динамично изменяющихся возмущающих факторов, что нашло отражение в развитии методологии принятия технических и организационных решений по достижению оптимальных показателей при управлении процессами и производствами в условиях информационной и технологической трансформаций.

Практическая значимость результатов исследования.

Созданные и апробированные динамические математические модели и численные процедуры их решения в контексте проблематики эффективного управления процессами и производствами в условиях информационной и технологической трансформаций предприятий подтвердили корректность обоснований в области совершенствования методов управления.

Опыт их реализации в промышленности на примере создания и эксплуатации трёхуровневой системы управления процессом биосорбции серебра подтвердил возможность достижения оптимальных технико-экономических характеристик производственного процесса и допустимость распространения обоснованных методов управления на мелкосерийные производства в условиях информационной и технологической трансформаций.

Реализация выводов и рекомендаций работы подтверждается:

– внедрением результатов исследований в виде рекомендаций по оптимизации процессов снабжения и обеспечения производственных участков при апробации разработанной системы «Планирование мелкосерийного производства» для формирования производственной программы предприятия: заложенный в алгоритме системы блок идентификации позволил адаптировать алгоритм системы к любому аналогичному мелкосерийному производству; подтверждена адекватность математической модели; оценка экономической эффективности за 3 месяца работы составила около 18.000 тысяч долларов (акт опытно-промышленной эксплуатации от 19.04.2011 г. выдан ООО «ВЕЛДЕ»);

– внедрением результатов исследований диссертационной работы в виде алгоритма и программного обеспечения системы управления себестоимостью сложных инженерных решений при планировании производственной программы цехов предприятия: представленная в работе математическая модель позволила осуществить прогноз экономических показателей и расчёт производственной программы с погрешностью не более 0,5%; формализованная постановка задачи позволила получить оптимальные решения производственных заданий, которые оцениваются экономическим эффектом в размере 8.000 тысяч долларов за месяц (акт опытной эксплуатации от 05.12.2013 г. выдан ООО «Оптимум инжиниринг»);

– внедрением в учебный процесс ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (справка №29-28/16 от 25.12.2020 г.: результаты работы внедрены в учебный процесс при чтении курсов лекций по дисциплинам «Системный анализ и проектирование компьютерных информационных систем» и «Общая теория системного управления» для студентов направлений подготовки 09.03.04 «Программная инженерия» и 09.03.02 «Системы автоматизированного проектирования», что отражено в учебно-методической документации указанных дисциплин);

– внедрением в научно-исследовательскую работу ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (справка №29-27/16 от 25.12.2020 г.: приняты к внедрению при выполнении научно-исследовательской госбюджетной работы кафедры программной инженерии Н-2020-14 «Усовершенствование средств инженерии программного обеспечения для актуальных классов IT-приложений» в 2020 г.).

Также имеются акты опытно-промышленных испытаний результатов исследований работы в ООО «Оптимум инжиниринг» и ООО «ТПС СЕРВИС».

Методологии и методы исследования.

В работе приведены выводы и заключения, основанные на функциональном анализе, применении численных методов, методов идентификации, математической статистики, теории дифференциальных уравнений, методов поиска экстремума, теории функций действительной переменной, теории оптимального управления.

Положения, выносимые на защиту.

1. Установлено, что в условиях технологической трансформации предприятия в целях достижения оптимальных технико-экономических показателей его работы необходимо сформировать правила, учитывающие возможности принятия решений, направленных на улучшение производственных и экономических показателей себестоимости продукции, стабилизирующие плановые задания в многоуровневой организации управления предприятием.

2. Доказано, что в условиях технологической и информационной трансформаций факторов, воздействующих на технологический процесс сорбции серебра, создание трёхуровневой системы управления процессами технологии извлечения серебра из электролизных растворов позволяет применять в качестве извлекающих элементов отходы производства антибиотиков, что повышает показатели экономической эффективности такого производства.

3. Установлено, что обоснованные и предложенные в работе правила, математические модели прогноза себестоимости и алгоритм функционирования системы управления себестоимостью прокатного производства в условиях информационной и технологической трансформаций предприятий позволяет сократить затратный механизм не менее, чем на 23%.

4. Доказано, что в условиях нестабильности физических и физико-химических характеристик сырьевых продуктов, характеризующих технологическую трансформацию, применение обоснованных и предложенных в работе методов и правил в отношении построения систем автоматического управления производственными процессами даёт возможность достигать оптимальные технико-экономические показатели мелкосерийного производства.

Степень достоверности и апробация результатов.

В работе приведены оценки адекватности прогнозируемых показателей и результатов управления, подтверждённые результатами опытно-промышленных испытаний.

Полученные результаты, положения и выводы отвечают требованиям паспорта специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки), в частности: п.3 «Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т.д.»; п.4 «Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизации»; п.6 «Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления»; п.8 «Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизации модульных структур систем сбора и обработки данных в АСУТП,

АСУП, АСТПП и др.»; п.10 «Методы синтеза специального математического обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистему АСУТП, АСУП, АСТПП и др.»; п.11 «Методы планирования и оптимизации отладки, сопровождения, модификации и эксплуатации задач функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включающие задачи управления качеством, финансами и персоналом».

Апробирование диссертации осуществлено на следующих конференциях:

Международная молодёжная научная конференция «XXV ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ», Москва, 1999 г.; X Международная научно-техническая конференция, Донецк, Институт прикладной математики и механики Национальной академии наук Украины (ИПММ НАНУ), 2007 г.; Международная научно-техническая конференция «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2007», Харьков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» (ХАИ), 2007 г.; XI Международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления» МИССУ, Канака, 2008 г.; X Международная научно-техническая конференция «Системний аналіз та інформаційні технології», Киев, Киевский политехнический институт им. И. Сикорского (КПИ), 2008 г.; Общеинститутская научная конференция, Донецк, Донецкий институт автомобильного транспорта (ДИАТ), 2008 г.; XII Международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления» МИССУ, Канака, 2009 г.; XIII Международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления» МИССУ, Канака, 2010 г.; XIV Международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления» МИССУ, Канака, 2011 г.; XV Международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления» МИССУ, Канака, 2012 г.

Личный вклад соискателя. Все основные идеи, положения, теоретические и практические результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно. Личный вклад соискателя заключается в обосновании идеи работы и её реализации, постановке целей и задач работы, в выборе методов и направлений исследований, методов моделирования, идентификации, синтеза алгоритмов систем управления производственными процессами, выполнении теоретических, аналитических и экспериментальных исследований, разработке правил, положений и методических рекомендаций по использованию результатов работы, а также их внедрению в производство.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 40 научных работах, в том числе: 4 работы – в изданиях, входящих в перечень специализированных научных изданий, утверждённых ВАК ДНР, 19 работ – в

изданиях, входящих в перечень научных изданий, утверждённых ВАК Украины, 16 – по материалам конференций, 1 – в других изданиях.

Структура и объём диссертации. Общий объём диссертации состоит из 360 страниц машинописного текста, из них 356 страниц основного текста, и состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 361 источника и одного приложения. Работа иллюстрирована 42 рисунками и 47 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность направления исследований, сформулированы цель и задачи исследования, отражена научная новизна, практическое значение полученных результатов и личный вклад автора, приведена информация об апробации и публикации результатов исследований.

В первом разделе «АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ, МЕТОДОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ В МЕТАЛЛУРГИИ» проведён анализ существующих разработок, который позволил, учитывая нестабильность свойств сырья, отражающую технологическую трансформацию, и неопределённость количества заказов на плановый период, отражающую экономическую трансформацию, сформировать правила, определяющие методику создания систем управления производственными процессами, создать математические модели прогноза показателей, поставить и формализовать цели управления. Это позволяет создать алгоритмы работы системы управления производственными процессами, предназначенные для расчёта оптимальных решений технологического и экономического характеров. Сформулированы цели и задачи работы.

Во втором разделе «МЕТОДЫ ПОПОЛНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОБЪЕКТАХ УПРАВЛЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИЙ» рассмотрены методологические особенности и методы разработки моделей и алгоритмов систем управления предприятием.

Любая система управления производственными процессами (в том числе и оптимальная) может быть представлена точкой или некоторой областью в трёхмерном пространстве ХИТ (характеристики объекта управления, информация об объекте управления, требования к объекту управления), конфигурация и размеры, которой определяются совокупностью показателей объекта управления (ОУ).

Рассматривая плоскость трёхмерного пространства ХИ, следует отметить, что она характеризует задачи параметрической идентификации. Для моделей в виде системы стохастических дифференциальных уравнений информация об ОУ должна группироваться в информационную матрицу значений входных

переменных и векторов выходящих переменных. В классической постановке задачи оценивания параметров:

$$E = \sum_{i=1}^M (y_{iоб} - y_{iмод}) \Rightarrow \min_{\beta}, \quad (1)$$

где M – объем выборки;

$y_{iоб}$ – выходные переменные, измеренные на объекте;

$y_{iмод}$ – выходные переменные, прогнозируемые по модели.

Информация об объекте позволяет осуществить расчёт параметров по формуле:

$$\bar{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T \bar{Y}_{об}, \quad (2)$$

где X – информационная матрица входных переменных;

X^T – транспонированная матрица;

$\bar{Y}_{об}$ – вектор выходных переменных, измеренных на объекте.

Следует отметить, что для систем управления производственными процессами с неполной информацией об объекте, информационная матрица может накапливаться в процессе движения объекта, и при достижении представительности выборки m , оцениваемой по числу степеней свободы f , может осуществляться процедура (2).

Это характерно для адаптивных систем с идентификатором в контуре управления. В этих системах тренд или временной дрейф возможно учитывать циклическим сдвигом строк информационных массивов или рекуррентными процедурами:

$$\begin{aligned} \bar{\beta}(k+1) &= \bar{\beta}(k) + \bar{\gamma}(k) \bar{\rho}(k) \bar{u}(k+1) (y(k+1) - \bar{u}'(k+1)) \beta(k), \\ \bar{\gamma}(k) \bar{\gamma}'(k) &= 1, |\bar{\rho}(k)| - 1 = \bar{u}_k^{-1} \bar{u}_k. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, вычислительные процедуры матричной алгебры осуществляются над некоторой областью, задаваемой в плоскости ХИ, в многоуровневых системах управления производственными процессами. Подобное представление математических моделей возможно для объектов управления каждого уровня.

Рассматривая орт T требований к объекту управления, следует отметить, что по этому орту формализуются цели управления в виде соответствующих критериев оптимальности. Как правило, это экономические показатели, формализованные в виде функционалов, зависящих от состояний, входных и выходных переменных и выделенных управляющих входов. Орт T — это разделяющая поверхность в задачах линейного программирования и распознавания образов. Очевидно, что математические модели, выступающие в роли ограничений, могут быть представлены точками или отрезками на оси X .

Формальная постановка задачи имеет вид:

$$J_1 = F(D(P_{il})) = \sum_l D_l(P_{il}) \rightarrow \max, \quad (4)$$

где D_l – валовый доход от реализации продукции группы.

Эта задача решается в динамической системе ограничений, представленной уравнениями модели прогноза:

$$\begin{aligned}\frac{dD_{ijl}}{dt} &= f_1(g_{ijl}), \\ \frac{dD_{ikl}}{dt} &= f_2(d_{ikl}), \\ \frac{dD_{iml}}{dt} &= f_3(z_{iml}).\end{aligned}\tag{5}$$

Решением данной задачи будут пары (D_{ijl}, g_{ijl}) , (D_{ikl}, d_{ikl}) , (D_{iml}, z_{iml}) , $\forall l$. Таким образом, управляющими переменными в решении задачи (4) на исследуемом этапе экономической деятельности предприятия могут быть только пары (D_{iml}, z_{iml}) .

Вторая постановка задачи представлена функционалом:

$$J_3 = F(SS(P_{il})) = \sum_l \sum_r ZT_{lr}(P_{il}) \rightarrow \min,\tag{6}$$

где SS – себестоимость продукции (по группе);

ZT – затраты;

r – виды затрат.

Формализация третьей задачи представлена функционалом:

$$\begin{aligned}J_4 = F(OR(P_{il})) &= \sum_l (OR_1(g_{ijl}) + OR_2(d_{ikl}) + OR_3(z_{iml}) + \\ &+ k_1 OR_1(d_{ikl}) + k_2 OR_1(z_{iml}) + k_3 OR_2(z_{iml})) \rightarrow \max,\end{aligned}\tag{7}$$

где OR_1 – обороты средств госзаказа;

OR_2 – обороты средств договоров;

OR_3 – обороты средств рыночных заказов;

$k_1 - k_3$ – количество оборотов средств.

Решение данной задачи возможно в следующей системе динамических ограничений:

$$\begin{aligned}\frac{dP_1}{dt} &= \Theta_1(g_{ijl}(f_{ijl})), \\ \frac{dP_2}{dt} &= \Theta_2(d_{ikl}(f_{ikl})) + \Theta_2(d_{ikl}(f_{ijl})), \\ \frac{dP_3}{dt} &= \Theta_3(z_{iml}(f_{iml})) + \Theta_3(z_{iml}(f_{ijl})) + \Theta_3(z_{iml}(f_{ikl})), \\ \frac{df}{dt} &= \Theta_4(g_{ijl}, d_{ikl}, z_{iml}), \\ \frac{dOR_2}{dt} &= \Theta_5(f_{ijl}, f_{ikl}, f_{iml}), \\ \frac{dOR_3}{dt} &= \Theta_6(f_{ijl}, f_{ikl}, f_{iml}).\end{aligned}\tag{8}$$

Предполагается, что в границах планового периода, предприятие может использовать производственные фонды госзаказа f_{ijl} и средства предприятия для выпуска договорной d_{idl} и рыночной z_{iml} продукции, при условиях:

$$T_2(OR_2) < T_3, T_1(OR_3) < T_3, T_1(OR_3) < T_2(OR_2), \quad (9)$$

где T_1, T_2, T_3 – срок выполнения заказов.

Это позволяет определять соблюдение условий договоров и госзаказа в отношении сроков поставки и формировать ограничения на количество оборотов средств:

$$k_1 > \frac{T_2(OR_2)}{T_3(OR_3)}, k_1 > \frac{T_1(OR_1)}{T_2(OR_2) + T_3(OR_3)}. \quad (10)$$

Решением задачи (7) в рамках ограничений (8) – (10) являются: (k_1, OR_1) , (k_2, OR_2) , (k_3, OR_3) которые позволяют выбирать варианты относительно привлечения оборотных средств (предоплата по договорам d_{ik}) и производственных фондов g_{ij} при условии, что эти заказы будут выполнены в срок, определенный условиями договоров и госзаказов. Пользователями этой задачи являются все экономико-финансовые подразделения предприятия, включая главного экономиста.

В практике организации производства в странах СНГ разработка алгоритмов систем управления производственными процессами опирается на многоуровневость подразделений и служб управления в задачах АСУП, поддерживаемых задачами АСУТП. Этому соответствует оценочная таблица соотношений решаемых задач с выделением пяти уровней (Таблица 1):

- 1 уровень – предприятие в целом, в совокупности решаемых задач;
- 2 уровень – производственные цеха;
- 3 уровень – переделы цехов;
- 4 уровень – производственные участки;
- 5 уровень – технологические агрегаты.

Таблица 1 – Соотношение задач АСУП и АСУТП

Доля решаемых задач, %	Уровни				
	1	2	3	4	5
АСУП	97 – 99	94 – 96	60 – 65	40 – 45	5 – 10
АСУТП	1 – 3	4 – 6	35 – 40	55 – 60	90 – 95

В перечень задач, решаемых на 1-м уровне, входят функциональные особенности служб управления предприятием:

- формирование портфеля заказов;
- планирование заданий производственным цехам;
- материальное и финансовое обеспечение;
- оборачиваемость средств;
- управление налогами;
- техническое обеспечение;
- ремонт и межремонтное обслуживание;
- модернизация технологического оборудования.

Важным аспектом исследования является разработка методики и алгоритмов производственного планирования для многоуровневых систем управления предприятием, применимых к ряду объектов с аналогичной

структурой. В основу методики работы положены определение эквивалентности множеств и следствие, что из каждого неэквивалентных множеств могут быть извлечены эквивалентные подмножества. Промышленное предприятие может быть представлено как пятиуровневая структура, в различной степени подчинённая производственной программе предприятия.

Согласно предлагаемой методике осуществляется проверка эквивалентности позиций, указанных в портфеле заказов предприятия, и позиций, приведённых в решении плановой задачи. Эквивалентность множеств подразумевается в семантическом и нумерологических смыслах. Эквивалентность в семантическом смысле подразумевает отображение названий продукции портфеля заказов предприятия и позиций планового решения, т.е. устанавливается эквивалентность вида:

$$Z_p^j \equiv Z^j, \quad (11)$$

где Z_p^j – множество названий продукции в портфеле заказов предприятия.

В последующем осуществляется отображение множеств:

$$G_p^j \equiv G^j, \quad (12)$$

характеризующих соотношения количества заказанного продукта и включённого в плановый портфель. Оценка эквивалентности осуществляется в количественном смысле.

Третий раздел «МЕТОДОЛОГИЯ И ПРАВИЛА, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЁХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СЕРЕБРА ИЗ ГРЯЗНЫХ РАСТВОРОВ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИЙ» посвящён разработке математических моделей, с помощью которых будут оцениваться состояния биосорбента и протекающего через колонны раствора при различных режимах функционирования колонн. Сформированы логико-формальные правила переключения колонн. Созданы математические модели прогноза экономико-технических свойств сорбента, предназначенные для выбора предлагаемых биокультур.

Исходя из анализа характеристик объекта управления, поставлены и формализованы задачи управления участком биосорбции серебра на трёх уровнях. Нижний уровень ориентирован на управление кинетикой процессов, протекающих в каждой колонне. Задачи среднего уровня относятся к реализации дискретных воздействий – режимов переключения колонн в соответствии с фазами каждого технологического цикла и охватывают вопросы управления режимами биосорбции, подчинёнными наиболее эффективному использованию сорбента, загруженного в колонны. Задача верхнего уровня носит организационно-экономический характер и, в частности, относится к вопросам оценки целесообразности закупки плесневой культуры (сорбента).

На нижнем уровне можно выделить три стадии протекания процесса. Первая стадия – биосорбция серебра (режим S), вторая – восстановление сорбционной способности плесневой культуры (режим R), которые составляют технологическую фазу процесса, и, в зависимости от вида сорбента, могут повторяться, образуя технологический цикл. После завершения использования сорбента выделяется третья стадия - десорбция (режим DS), подчинённая извлечению серебра из биосорбента, накопленного за технологические циклы.

На основании принятой гипотезы, допущений и ограничений, процесс биосорбции, осуществляемый в каждой грануле при протекании раствора, декомпозирован на три зоны (Рисунок 1).

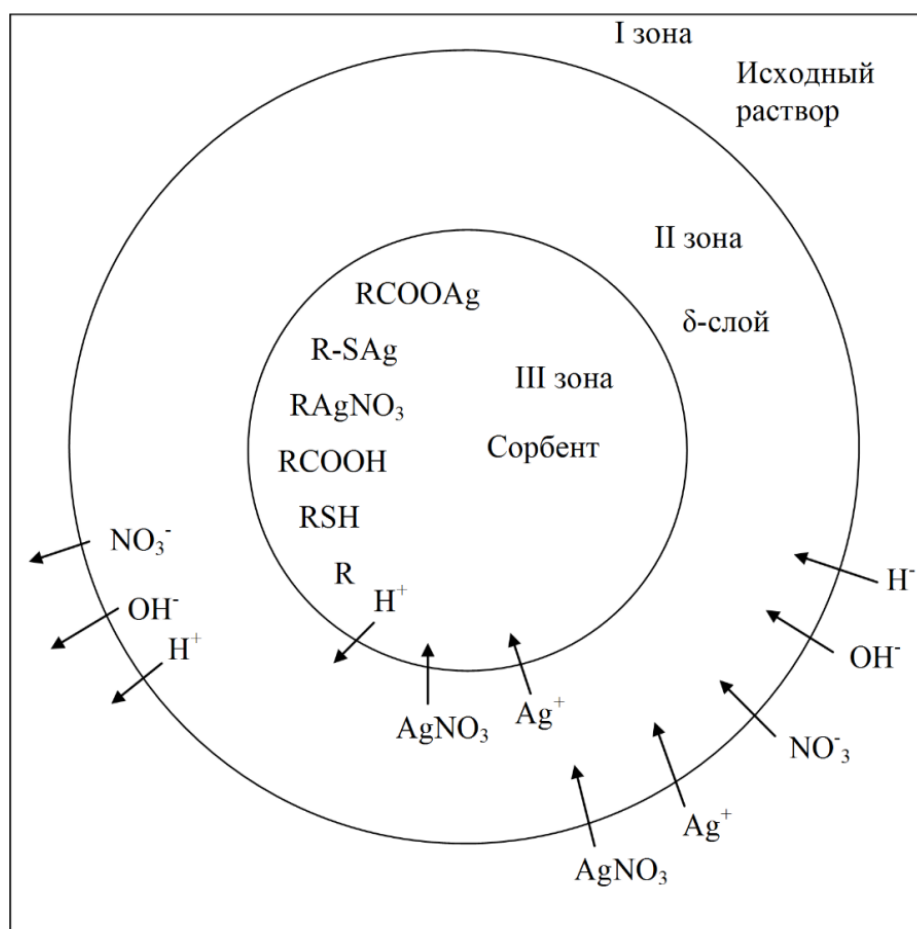
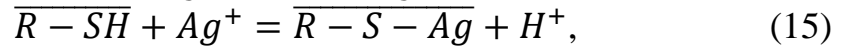
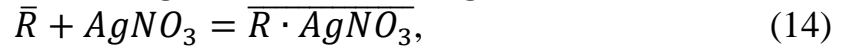
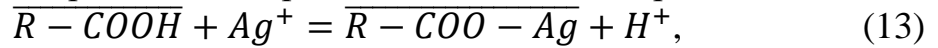


Рисунок 1 — Принцип декомпозиции рабочего объёма на зоны при протекании процесса сорбции

Первая зона представляет собой исходный вторичный раствор, содержащий AgNO_3 в химически связанном и диссоциированном виде, а также ионы воды, диссоциированные в виде анионов OH^- и катионов H^+ . В качестве второй зоны выделен δ -слой, характеризующий механизм обмена между сорбентом и раствором. Третья зона представляет собой гранулу биосорбента, содержащую активные центры, усваивающие серебро из растворов.

Согласно принятой декомпозиции, в первой зоне циркулируют растворы, содержащие Ag^+ , NO_3^- , AgNO_3 , H^+ , OH^- . Из этой зоны во вторую зону

переходят вышеперечисленные компоненты. Из второй зоны в третью зону переходят Ag^+ , $AgNO_3$. В третьей зоне происходят химические реакции:



где R – свободный радикал в растворе.

На протекание реакции расходуются биоактивные центры сорбента $R-COOH$, $R-SH$ и R . Образуются $R-COO-Ag$, $R-S-Ag$, $R \cdot AgNO_3$, которые усваиваются сорбентом и катионы H^+ , которые переходят во вторую зону. Из второй зоны в первую переходят анионы NO_3^- , OH^- и катионы H^+ . Применительно к приведённой декомпозиции рабочего объёма гранул биосорбента разработана математическая модель процесса биосорбции.

Так как протекающие в колонне процессы являются нестационарными, то для описания явлений, происходящих при этих процессах, разработана динамическая детерминированная модель, рассматриваемая как параметрическая структура. Зависимости между переменными носят нелинейный характер, поэтому постановка задачи моделирования имеет следующий вид: разработать динамическую детерминированную модель с нелинейным характером переменных, описывающую явления массопереноса с сопутствующим химизмом протекающих процессов. Согласно декомпозиции, разработаны три подмодели, описывающие явления, протекающие в каждой зоне, в виде связанной системы параметрических дифференциальных уравнений с нелинейными правыми частями:

$$\frac{d\bar{y}}{dt} = f(\bar{x}, \bar{y}, t), \quad (16)$$

где x – состояние объекта;

y – прогнозируемая переменная (выход объекта);

t – время.

Для каждой зоны с помощью этого уравнения описываются физико-химические явления, происходящие в этой зоне, количество извлекаемого серебра (выход) и расход сорбентов на протекающие реакции. Эта система функционирует в автоматизированном режиме, при этом пользователь частично вводит информацию о вариантах закупки (цене плесневой культуры и ее количестве), а информация о технологических свойствах этой культуры, уже использовавшейся в технологическом цикле процесса биосорбции серебра, поступает из базы данных системы, реализованной в составе системы управления участком.

Постановка задачи управления верхнего уровня имеет следующий вид: определить количество закупаемых биосорбентов таким образом, чтобы затраты на закупку были минимальными при условии, что кинетические и физико-химические свойства этих материалов были не менее нормативных.

На основании изложенного, выполнена формализованная постановка задачи определения экстремума функционала:

$$F_1 = \sum_{j=1}^n w_j c_j x_{2j} \rightarrow \min_{x_{2j}}, \quad (17)$$

где j – номер типа сорбента, $j = \overline{1, 6}$;

w_j – доля j -го типа сорбента в общей закупке;

c_j – стоимость j -го типа сорбента;

x_{2j} – количество закупаемого сорбента j -го типа.

Количество закупаемых сорбентов должно быть не менее рассчитанных по модели, то есть $x_{2j} \geq x_{2j}^M$, где $j = \overline{1, 6}$ а свойства j -х сорбентов должны быть не менее нормативных ($x_{ij} \geq x_{ij}^M$, где $i = \overline{3, 7}$, $j = \overline{1, 6}$).

Поиск экстремума функционала F_1 осуществляется симплекс-методом. Полученные оптимальные решения за месяц приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Оптимальные решения за месяц

Перем.	Знач.	Перем.	Знач.	Перем.	Знач.	Перем.	Знач.
X11	1	c1	83	X41	6	X61	38,8
X12	2	c2	84	X42	6	X62	36,8
X13	3	c3	95	X43	7	X63	31,8
X14	4	c4	89	X44	8	X64	26,1
X15	5	c5	105	X45	7	X65	23,6
X16	6	c6	81	X46	9	X66	18
X21	218	X31	21	X51	2	X71	48
X22	213	X32	19	X52	2,1	X72	48
X23	205	X33	17	X53	1,72	X73	55
X24	193	X34	15	X54	1,63	X74	63
X25	186	X35	14	X55	1,58	X75	57
X26	174	X36	12	X56	1,41	X76	69

Оптимальные решения задачи верхнего уровня, опирающиеся на экономические и технологические характеристики биосорбентов, позволяют сократить производственные расходы по приобретению и замене последних. Согласно этим решениям, в период опытной эксплуатации стало возможным оценить обобщённые технико-экономические показатели применения различных видов сорбентов.

В системе управления участком биосорбции серебра предусмотрен режим переключения колонн после насыщения биосорбента, т.е., переходы с режима сорбции (S) на режим восстановления технологических свойств сорбента (R) – роста активных центров плесневой культуры, способных усваивать серебро из раствора в последующих циклах. Это определяет особенности дискретного управления, реализующего переключение режимов и фаз в каждом цикле, а также переключение колонны на режим десорбции при максимальном использовании сорбционных свойств плесневой культуры в колонне.

Задачей управления среднего уровня является: реализация процесса биосорбции серебра при максимальном использовании активных центров

плесневой культуры, исходя из условия, что производительность (количество усвоенного сорбентом серебра) должна быть не менее заданного лицом, принимающим решения, (ЛПР) уровня.

Формальная постановка задачи имеет вид:

$$F_2 = G^{\text{RCOOH}}(A_{ij}, T_{2,k}) + G^{\text{RSH}}(A_{ij}, T_{2,k}) + G^{\text{R}}(A_{ij}, T_{2,k}) \rightarrow \max_{G^{\text{RCOOH}}, G^{\text{RSH}}, G^{\text{R}}} \quad (18)$$

при следующих ограничениях:

$$\frac{dG^{\text{Ag}}(A_{ij})}{dt} = \sum_{k=1}^{\text{КЦ}} G_k^{\text{Ag}}(A_{ij}, T_{1,k}) \geq z_7, \quad (19)$$

где z_7 – заданный ЛПР уровень производительности.

$$G_k^{\text{Ag}}(A_{ij}, T_{1,k}) = \chi_{\text{Ag}}^{\text{RCOOH}} G^{\text{RCOOAg}}(A_{ij}, T_{1,k}) + \chi_{\text{Ag}}^{\text{RSH}} G^{\text{RSAg}}(A_{ij}, T_{1,k}) + \chi_{\text{AgNO}_3}^{\text{R}} G^{\text{RAgNO}_3}(A_{ij}, T_{1,k}) \geq z_8, \quad (20)$$

где z_8 – заданный ЛПР уровень расходования плесневой культуры.

Решение задачи управления сводится к определению расходования плесневых культур в режиме сорбции. Наборы решений, полученных при опытной эксплуатации для каждого типа сорбента, представлены в таблице 3.

Таблица 3 — Изменение количества циклов в зависимости от уровня задания долевого использования активных центров

$z_4 = k_g G^{\text{At}}(0)$	Типы сорбентов – количество циклов					
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
0,1	8	8	9	9	10	11
0,2	7	8	8	9	9	11
0,3	7	7	7	8	8	10
0,4	6	6	7	8	8	10
0,5	6	6	7	8	7	9

$G^{\text{At}}(0)$ – вес активных центров свежего сорбента.

Полученные оптимальные решения позволили получить оценки характеристик количества циклов использования биосорбентов каждого типа.

Решение задачи осуществляется методом наискорейшего спуска. Численное решение этой задачи с определёнными значениями количества раствора, перетекающего через колонны, представлено на рисунке 2.

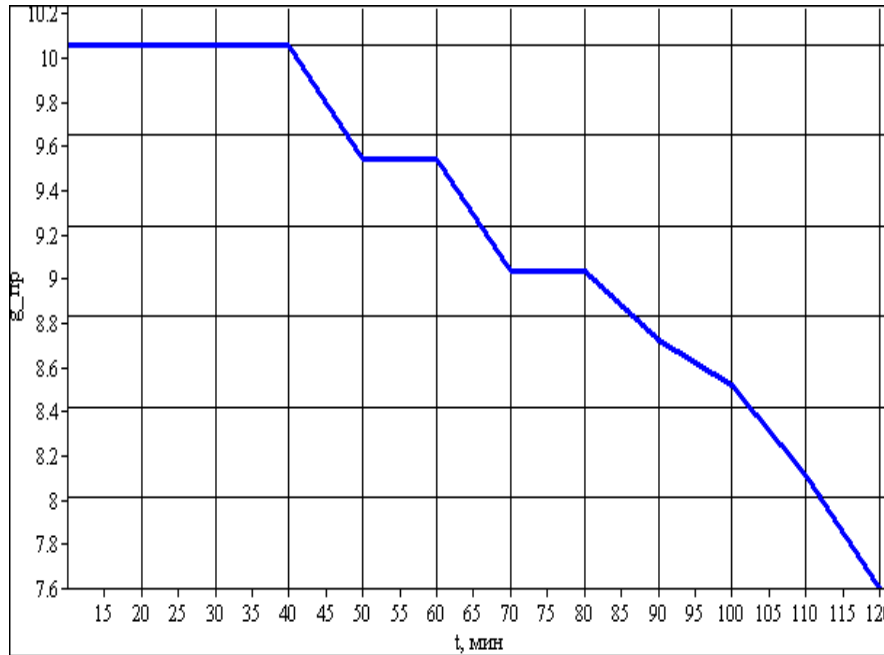


Рисунок 2 — Оптимальные решения системы управления производственными процессами нижнего уровня по управлению расходом серебросодержащего раствора

Как видно, оптимальные решения поддерживают фиксированный расход раствора в первые 40 минут режима сорбции, а с уменьшением сорбционной ёмкости сорбента, расход раствора через колонну уменьшается.

Характеристики роста плесневой культуры во второй-пятой фазах первого цикла колонны А₁₁ представлены графиками на рисунках 3–5.

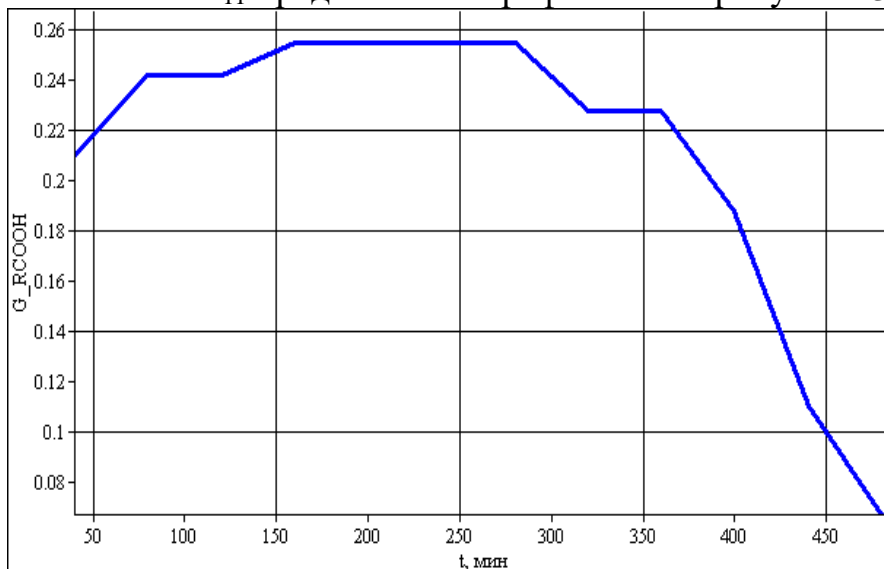


Рисунок 3 — Рост культуры RCOOH в режиме восстановления

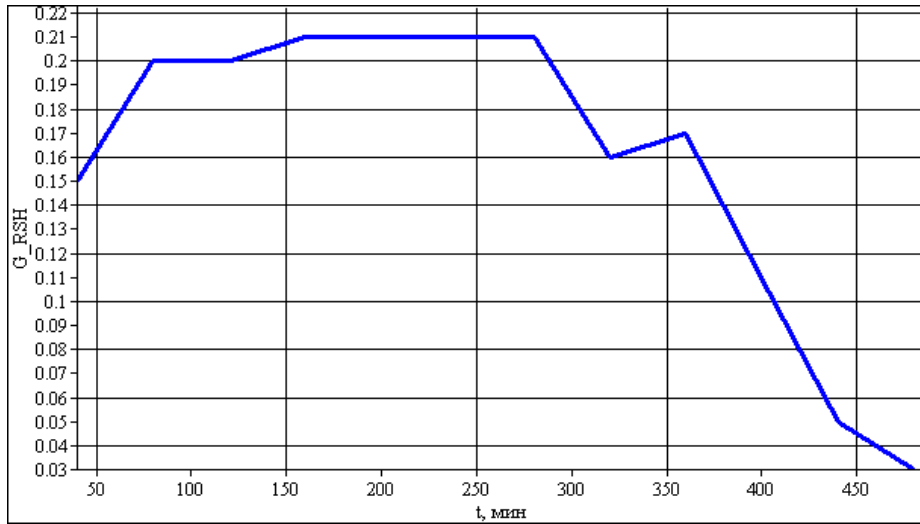


Рисунок 4 — Рост культуры RSH в режиме восстановления

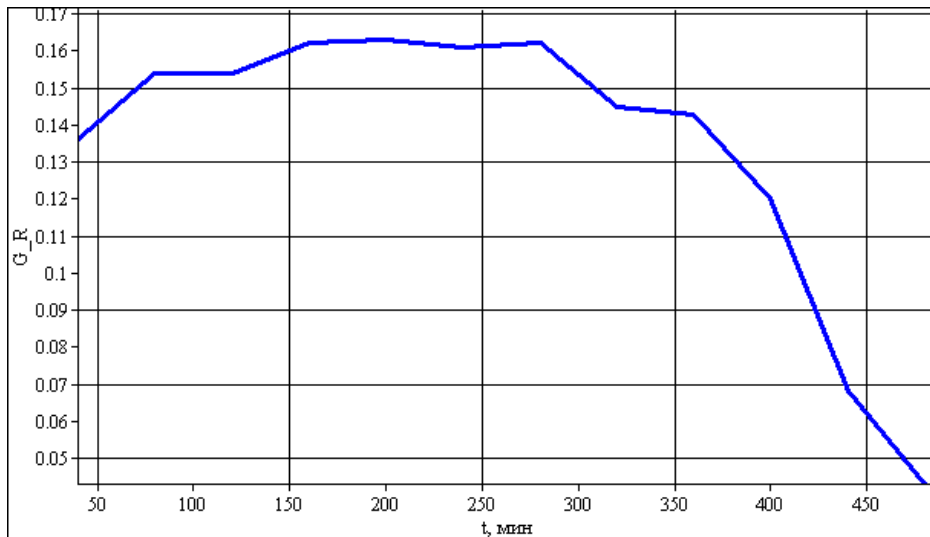


Рисунок 5 — Рост культуры R в режиме восстановления

Приведённые зависимости показывают, что оптимальное управление кинетикой процессов приводит к своевременному переключению режимов и увеличению производительности колонн участка биосорбции серебра.

Укрупнённая блок-схема системы управления производственными процессами, представляющая все 3 уровня системы, представлена на рисунке 6.

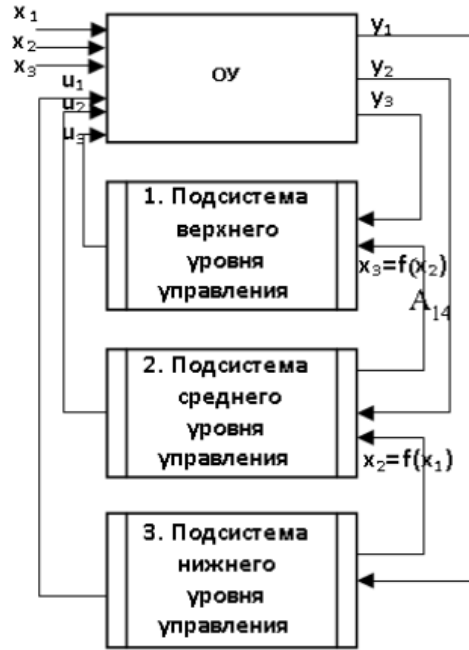


Рисунок 6 — Укрупнённая блок-схема системы управления процессом извлечения серебра

Системы управления процессами нижнего и среднего уровней предназначены для реализации автоматического управления режимами сорбции (S), восстановления технологических свойств сорбента (R) и десорбции (DS). Алгоритм системы верхнего уровня предназначен для реализации автоматизированного управления участком биосорбции серебра, в котором часть информации (тип сорбента V_i , его количество $CG(V_i)$, цена плесневой культуры $CT(V_i)$) интерактивно вводится ЛПР, а алгоритм системы позволяет определять оптимальные решения о приобретении той или иной культуры. Дифференциальные уравнения позволяют оценить динамику использования сорбентов различных типов при проведении процесса, обобщая результат функционирования всех колонн участка, заполненных сорбентом типа V_i . Данные для этого обобщения поступают из системы второго уровня. Вторая совокупность уравнений, представленная регрессионными полиномами, позволяют осуществить статический, наилучший в среднеквадратическом смысле, расчёт технико-экономических и стоимостных показателей использования сорбентов различных типов плесневой культуры. Разработана функциональная схема системы управления извлечения серебра с использованием методологии функционального моделирования IDEF0 (Рисунок 7).

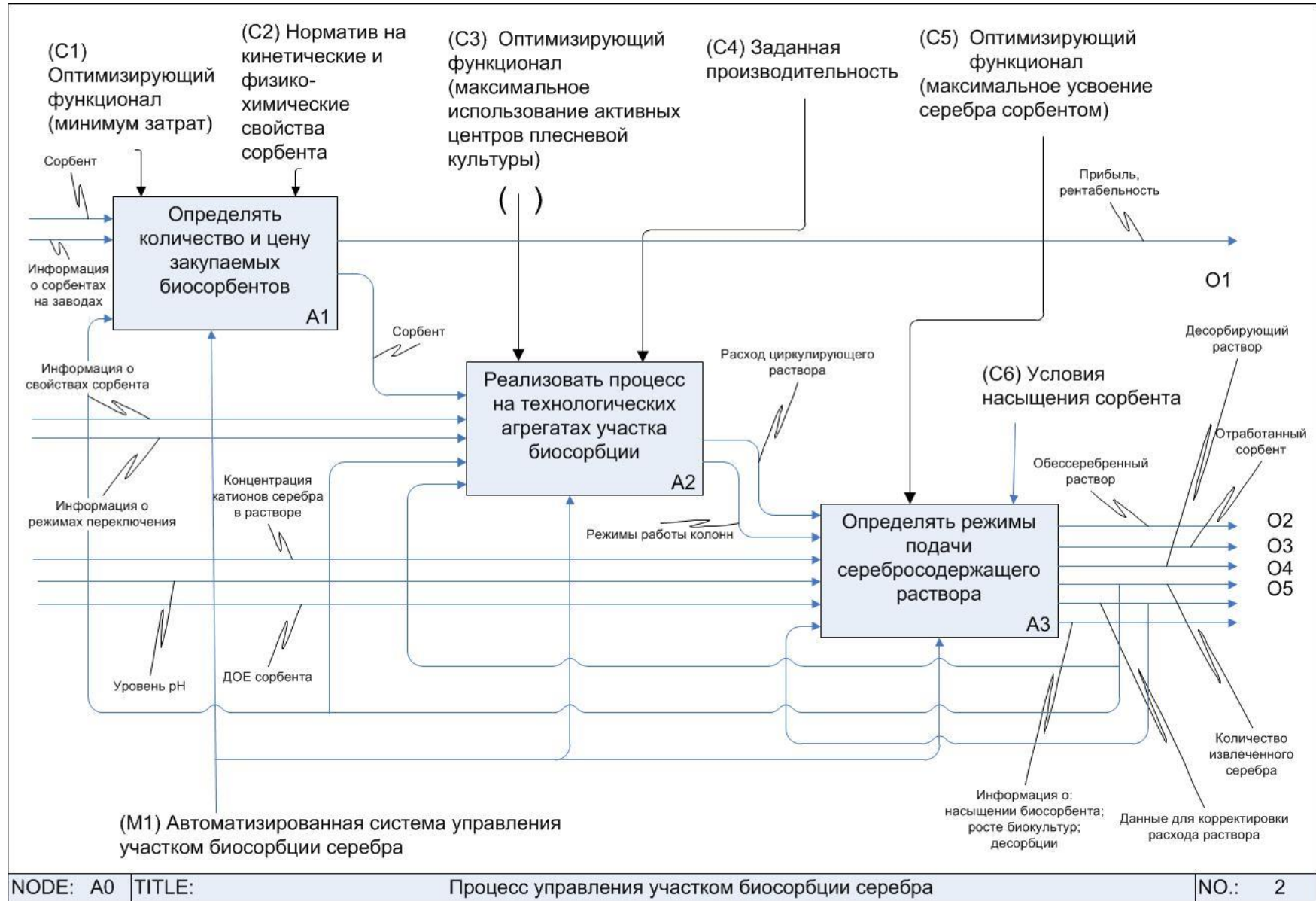


Рисунок 7 — Функциональная схема системы управления процессом биосорбции серебра

В четвёртом разделе «МЕТОДОЛОГИЯ И ПРАВИЛА, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СПЕЦИФИКУ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕЛКОСЕРИЙНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ НОРМАЛИЗОВАТЬ ПОСТАВКИ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ» излагаются следующие вопросы.

1. Разработка структурных моделей декомпозированных этапов планирования как основы ИТ СППР.

2. Постановка и формализация задачи оптимального планирования с учётом регламентных ограничений, формулировка правил формализации временных показателей изготовления заказов в процессе производства.

3. Усовершенствование методов численного решения задачи оптимального планирования.

4. Формирование правил и алгоритмов определения последовательности выполнения заказов, подчинённых задачам оптимального планирования и оптимального оперативного управления.

5. Определение особенности ПО и инструментария принятия оптимальных решений СППР.

Разработанные в разделе модели и правила планирования обобщены в виде структурных моделей. Структурная модель решения задач всех четырёх этапов (Рисунок 8) включает в себя следующие узлы:

– А1: для решения задачи 1-го этапа планирования поступающие от потребителей продукции заказы объединяются в группы по типоразмерам заказов, выделяются характеристики заказов каждой из групп. На основании разработанного двойственного метода выполняется обратный прогноз типоразмеров заготовок для выполнения заказов групп;

– А2: при решении задачи 2-го этапа планирования осуществляется формализация технологических ограничений производства в виде логико-формальных моделей. Разработанные модели, в соответствии с предлагаемым в работе двойственным методом прямого расчёта типоразмеров заготовок, определяют правила формирования из групп кратных слябов, полученных на 1-м этапе, наборов партий кратных слябов для задания в производство;

– А3: 3-й этап задачи планирования необходим для расчёта времени преобразования наборов партий слябов, сформированных на 2-м этапе и расчёта планируемого времени поставки партий мерных слябов;

– А4: при решении задачи 4-го этапа планирования определяется очерёдность задания в производство сформированных партий кратных слябов, на основе которой формируется программный продукт (ПП) изготовления заказов.



Рисунок 8 — Разработка структурной модели решения декомпозированных задач планирования

Задачей планирования является определение упорядоченного множества наборов партий заготовок (кратных слябов), предназначенных для выполнения портфеля заказов таким образом, чтобы время изготовления всех позиций было минимальным при выполнении нормативных, технологических и регламентных ограничений и требований о сроке выполнения заказов.

Это позволяет сформировать функционал цели в виде соответствующего критерия. Формальная постановка задачи планирования следующая:

$$J = F(D, Nl) \rightarrow \min_{D, Nl}, \quad (21)$$

$$D = (\|SK_{l,c,n}\|, \|TPL_{l,c}\|), l = \overline{1, Nl}, c = \overline{1, Nc_l}, n \in \{1, \dots, Nn\}, \quad (22)$$

где $TPL_{l,c}$ – продолжительности обработки кратных слябов партии $SK_{l,c,n}$ на устройствах цеха, которые оказывают основное влияние на общую продолжительность всего технологического цикла.

Функционал J в развёрнутом виде должен учитывать количество Nl наборов партий кратных слябов и последовательность задания партий в наборах и наборов в производство. Поскольку последовательность задания влияет лишь на продолжительность технологической паузы при поступлении слябов на прокатные клетки из нагревательных печей, а обработка на остальных устройствах цеха не зависит от такой последовательности, то целесообразно определить $TPL_{l,c}$ согласно:

$$TPL_{l,c} = MKP_{l,c,n}/PPR_n + f1(SK_{l,c,n}), \quad (23)$$

где $MKP_{l,c,n}$ (кг) – масса кратных слябов партии $SK_{l,c,n}$;

PPR_n (кг/час) – производительность обработки на прокатных клетях партии $SK_{l,c,n}$ кратных слябов, необходимых для выполнения заказов группы G_n^4 ; производительность является нормативной величиной и зависит от типоразмеров заказов группы G_n^4 ;

$f1$ – функция, значение которой равно продолжительности технологической паузы перед обработкой партии $SK_{l,c,n}$.

Тогда функционал J может быть представлен в развёрнутом виде как функция от масс $MKP_{l,c,n}$ партий кратных слябов $SK_{l,c,n}$ и от количества Nl наборов этих партий:

$$J = \sum_{l=1}^{Nl} (TPER + \sum_{c=1}^{Nc_l} (MKP_{l,c,n}/PPR_n + f1(SK_{l,c,n}))), \quad (24)$$

$$J = J(MKP_{l,c,n}) \rightarrow \min_{DD, Nl},$$

$$DD = \|MKP_{l,c,n}\|, l = \overline{1, Nl}, c = \overline{1, Nc_l}, n \in \{1, \dots, Nn\}, \quad (25)$$

где $TPER = 0,67$ ч – время перевалки в конце каждой кампании валков.

Решением задачи оптимального планирования является матрица масс партий $\|MKP_{l,c,n}^*\|$ и количество Nl сформированных наборов партий:

$$(\|MKP_{l,c,n}^*\|, Nl^*) = \arg \min_{DD, Nl} J. \quad (26)$$

С целью учёта технологических ограничений листопрокатного производства формируются ограничения задачи оптимального планирования, задающие область определения DD функционала J . Для учёта технологических, нормативных и регламентных ограничений используются модели, представленные в виде:

$$\begin{aligned}
 P_{1,1}(MKP_{l,c,n}): MKP_{l,c,n} &\geq MIN_n \geq 0, l = \overline{1, Nl}, c = \overline{1, Nc_l}, \\
 P_{1,2}(MKP_{l,c,n}): MKP_{l,c,n} &\leq MAX_n, l = \overline{1, Nl}, c = \overline{1, Nc_l}, \\
 P_2(\sum_{c=1}^{Nc_l} MKP_{l,c,n}): \sum_{c=1}^{Nc_l} MKP_{l,c,n} &\leq 1800000, l = \overline{1, Nl}, \\
 P_3(\sum_{c=1}^{Nc_l} MKP_{l,c,n1}): \sum_{c=1}^{Nc_l} MKP_{l,c,n1} &\leq MAX_{n1}, \forall n1 \in \{1, \dots, Nn\}, l = \overline{1, Nl}, \\
 P_4(B_{l,c,n}): B_{l,c,n}/B_{l,c-1,n1} &\leq 1, \\
 P_5(MS_{l,c,n}): |MS_{l,c,n} - MS_{l,c-1,n1}| &\leq 600, l = \overline{1, Nl}, c = \overline{2, Nc_l}, \\
 P_5(MS_{l,1,n}) |MS_{l,1,n} - MS_{l-1,c_{l-1},n1}| &\leq 600, l = \overline{2, Nl}, \\
 P_6(\sum_{l=1}^{Nl} \sum_{c=1}^{Nc_l} MKP_{l,c,n1}): \sum_{l=1}^{Nl} \sum_{c=1}^{Nc_l} MKP_{l,c,n1} &= MKG_{n1}, n1 = \overline{1, Nn},
 \end{aligned} \tag{27}$$

где MAX_n , MIN_n – технологически допустимая масса металла n -й позиции заказов (всех заказов группы G_n^4) для одной кампании валков;

MKG_n – масса всех кратных слябов, используемых для выполнения n -й позиции заказов;

$MKP_{l,c,n}$ – масса партии кратных слябов, которая может принимать только значения, кратные массе $MS_{i)Cm}$ одного кратного сляба: $MKP_{l,c,n} = i \times MS_{l,c,n}$, где i – шаг кратности;

$B_{l,c,n}$, $MS_{l,c,n}$ – толщина листа, получаемого в партии $SK_{l,c,n}$ и масса кратного сляба партии $SK_{l,c,n}$.

Это позволяет развернуть постановку задачи оптимального планирования выполнения заказов с учётом технологических ограничений: определить оптимальное количество Nl наборов партий кратных слябов $SK_{l,c,n}$, необходимых для прокатки групп заказов, а также массы $MKP_{l,c,n}$ партий кратных слябов $SK_{l,c,n}$ прокатываемые в кампаниях валков, которые доставляют минимум функционалу J (42), и удовлетворяют ограничениям P (45), где $l = \overline{1, Nl}$ – порядковый номер кампании валков в течение планового периода, $c = \overline{1, Nc_l}$ – порядковый номер партии в кампании валков, $n \in \{1, \dots, Nn\}$ – номер позиции заказов, изготавливаемых при прокатке партии $SK_{l,c,n}$.

На основе введённых в подсистему планирования характеристик поступивших заказов, пользователь получает ПП работы листопрокатного цеха, обеспечивающую выполнение заказов за минимальное время, и характеристики заказа мартеновскому цеху на производство заготовок. Подсистема планирования предусматривает возможность получения

поливариантных расчётов ПП для оценки последствий реализации каждого из вариантов. Окончательный вариант ПП выбирается пользователем и направляется в листопрокатный цех для выполнения.

Пятый раздел «МЕТОДОЛОГИЯ И ПРАВИЛА, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТЬЮ ПРОДУКЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИЙ» посвящён разработке моделей и алгоритмов автоматизированной системы управления себестоимостью продукции ОАО «Артёмовский завод обработки цветных металлов» (ОАО «АЗОЦМ»).

Методология динамического прогноза себестоимости продукции предоставляет возможность эффективного управления затратами предприятия при решении задач формирования портфеля заказов, планирования и оперативного перепланирования производства, разработки графика планово-предупредительных ремонтов. В результате разработана АСУ себестоимостью продукции в контексте решения задачи планирования и оперативного перепланирования производства для ОАО «АЗОЦМ».

Разработаны модели прогноза себестоимости продукции для ОАО «АЗОЦМ» (как объекта управления). Учитывая нестационарность экономических процессов (спад объёмов производства, нестабильность портфеля заказов, инфляция), синтез моделей выполнен на основе общей методологии динамического прогноза себестоимости, согласно которой разработка моделей прогноза себестоимости продукции ОАО «АЗОЦМ» включает: идентификацию множественной логико-концептуальной модели; задание нелинейностей и параметрическую идентификацию математических моделей прогноза себестоимости.

Множество $A = \{a_1^{00}, a_1^{11}, a_2^{11}, a_3^{11}\}$, где a_1^{00} - предприятие ОАО «АЗОЦМ» в целом, a_1^{11} – литейный цех, a_2^{11} - цех круглого проката, a_3^{11} – цех плоского проката. Множество конечных подразделений $A^* = A \setminus a_1^{00}$. Характеристики материальных превращений и калькулирования себестоимости подразделений включают множества видов продукции P_i^k , ресурсов R_i^k , полуфабрикатов B_i^k , объектов калькулирования Q_i^k и статей себестоимости S_i^k с классификацией на статьи прямых материальных SM_i^k , прямых нематериальных SP_i^k и косвенных затрат SI_i^k , где $k=0, 1, i=1$ для $k=0$ и $i=1, 2, 3$ для $k=1$.

В информационных модулях для элемента a_1^{00} (предприятие ОАО «АЗОЦМ» в целом) приведены множества:

- 1) видов продукции $P_1^0 = \{p_{25}, \dots, p_{34}\}, p_l \in P$;
- 2) ресурсов $R_1^0 = \{p_1, \dots, p_7, p_{12}, \dots, p_{16}\}$;
- 3) полуфабрикатов $B_1^0 = \{p_8, \dots, p_{11}, p_{17}, \dots, p_{24}\}$;
- 4) объектов калькулирования $Q_1^0 = \{p_{17}, \dots, p_{34}\}$;

5) статей себестоимости $S_1^0 = \{s_1, s_2, s_3\}$ (элементы данного множества приведены в таблице 4);

6) статей прямых материальных затрат $SM_1^0 \neq \emptyset$, прямых нематериальных затрат $SP_1^0 \neq \emptyset$ и косвенных затрат $SI_1^0 = S_1^0$.

Таблица 4 – Элементы множества статей себестоимости S_1^0

Элемент	Наименование статьи
S_1	общезаводские расходы
S_2	прочие производственные расходы
S_3	внепроизводственные расходы

Аналогично для элемента a_1^{11} (литейный цех) определены множества:

1) видов продукции $P_1^1 = \{p_{17}, \dots, p_{34}\}$;

2) ресурсов $R_1^1 = \{p_1, \dots, p_{11}, p_{13}, p_{16}\}$;

3) объектов калькулирования $Q_1^1 = \{p_{17}, \dots, p_{34}\}$;

4) статей себестоимости $S_1^1 = \{s_1, \dots, s_{15}\}$;

5) статей прямых материальных затрат $SM_1^1 = \{s_1, \dots, s_9\}$, прямых нематериальных затрат $SP_1^1 = \{s_{10}, \dots, s_{13}\}$ и косвенных затрат $SI_1^1 = \{s_{14}, s_{15}\}$.

Для элемента a_2^{11} (цех круглого проката) определены множества:

1) видов продукции $P_2^1 = \{p_8, \dots, p_{11}, p_{25}, \dots, p_{28}\}$;

2) ресурсов $R_2^1 = \{p_{12}, p_{13}, p_{15}, \dots, p_{20}\}$;

3) объектов калькулирования $Q_2^1 = \{p_{25}, \dots, p_{28}\}$;

4) статей себестоимости $S_2^1 = \{s_1, \dots, s_{14}\}$;

5) статей прямых материальных затрат $SM_2^1 = \{s_1, \dots, s_8\}$, прямых нематериальных затрат $SP_2^1 = \{s_9, \dots, s_{12}\}$ и косвенных затрат $SI_2^1 = \{s_{13}, s_{14}\}$.

Для элемента a_3^{11} (цех плоского проката) определены множества:

1) видов продукции $P_3^1 = \{p_8, \dots, p_{11}, p_{29}, \dots, p_{34}\}$;

2) ресурсов $R_3^1 = \{p_{13}, p_{14}, p_{16}, p_{21}, \dots, p_{24}\}$;

3) объектов калькулирования $Q_3^1 = \{p_{29}, \dots, p_{34}\}$;

4) статей себестоимости $S_3^1 = \{s_1, \dots, s_{13}\}$;

5) статей прямых материальных затрат $SM_3^1 = \{s_1, \dots, s_8\}$, прямых нематериальных затрат $SP_3^1 = \{s_9, \dots, s_{12}\}$ и косвенных затрат $SI_3^1 = \{s_{13}, s_{14}\}$.

Постановка задачи имеет вид: определить для цехов ОАО «АЗОЦМ» такие плановые задания по выпуску продукции до конца текущего месяца с шагом квантования в сутки, которые обеспечат выполнение всех позиций портфеля заказов с минимальными затратами.

В результате формализации данной задачи получен функционал цели управления, определяющий общие затраты предприятия по выполнению производственной программы:

$$\sum_{p_i \in Q_1^0} GS_{1i}^0(T) \rightarrow \min, \quad (28)$$

где T – период времени (в сутках), на котором решается задача.

оперативное перепланирование выпуска продукции цехами данного завода (Рисунок 9).

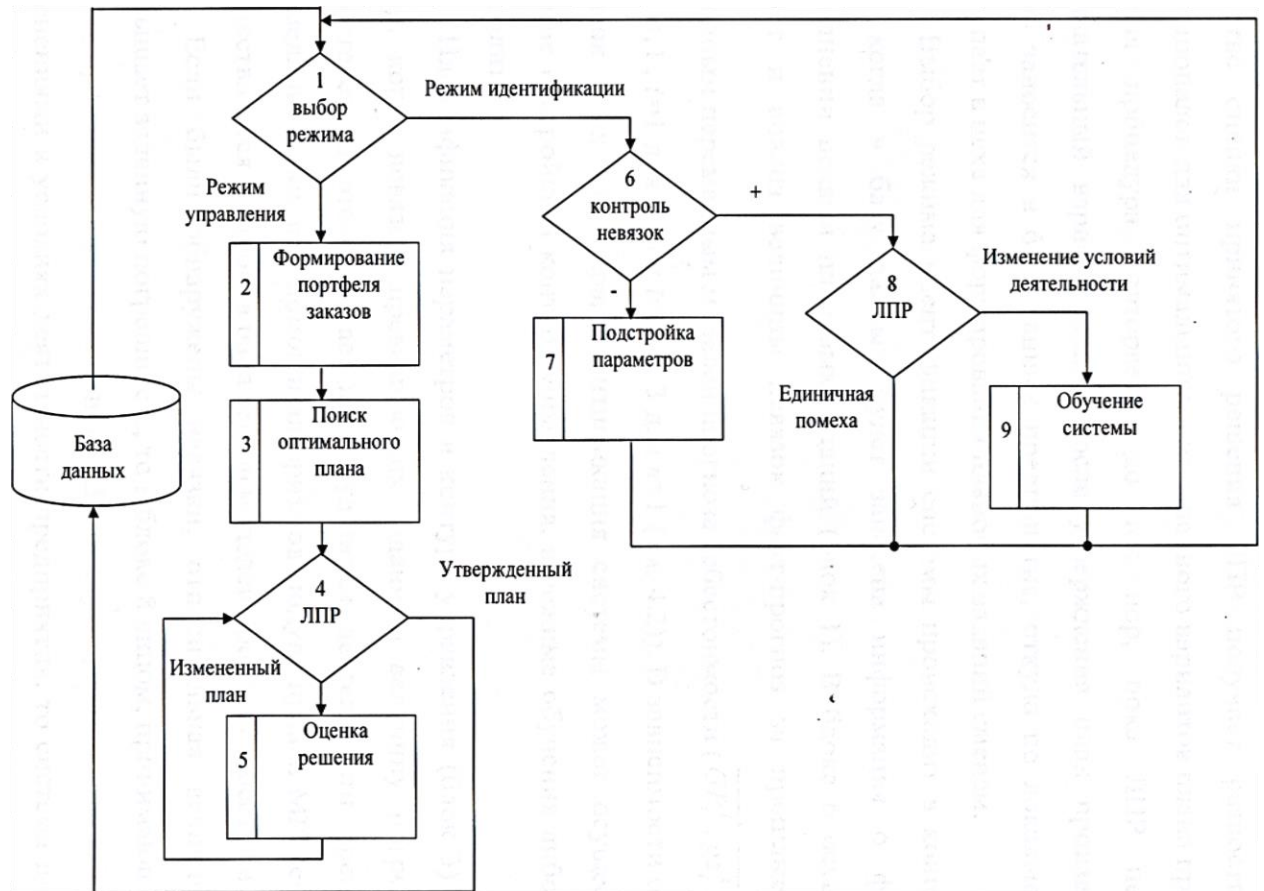


Рисунок 9 — Функциональная схема алгоритма системы управления себестоимостью продукции ОАО «АЗОЦМ»

Автоматизированная система может работать в режимах управления и идентификации. В режиме управления подсистема формирования портфеля заказов (блок 2), на основании хранящейся в базе данных предприятия информации об поступивших заказах и данных о фактическом выпуске продукции за предыдущие дни месяца, определяет объёмы продукции, которые необходимо произвести заводу до конца текущего месяца.

В блоке 3 средствами динамического программирования осуществляется решение задачи (31) – (36), в результате чего формируются плановые задания $prp_{ii}^k(t)$ по выпуску продукции видов $p_i \in P$ подразделениями a_i^k (где $k = 0, 1$, $i=1$ для $k=0$ и $i=1, 2, 3$ для $k=1$) на промежутке времени $[t_0, T]$ (t_0 - текущий день, T - число дней в данном месяце) с шагом квантования в сутки. Полученное решение в качестве рекомендаций предоставляется для анализа ЛПР, в роли которого выступает начальник планово-экономического отдела (блок 4). В случае внесения изменений в плановые задания, в блоке 5 при помощи моделей прогноза себестоимости осуществляется прогноз величины затрат для нового варианта плана. На основании этого прогноза рассчитывается значение функционала (28) и в качестве оценки принятого решения ЛПР получает разность

значений функционалов для оптимального и изменённого вариантов плана производства. Данная процедура повторяется до тех пор, пока ЛПР не утвердит окончательный вариант плана. После утверждения план производства для цехов заносится в базу данных предприятия, откуда поступает в цеха для формирования плановых заданий сменам.

Разработанный алгоритм, в частности, адаптирован для управления себестоимостью продукции ОАО «АЗОЦМ» в ритме с процессом производства. Для практического использования данного алгоритма применительно к каждому конкретному производству в задачах планирования и оперативного перепланирования разрабатывается соответствующее программное обеспечение и проводится численное исследование на контрольном примере.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации решена актуальная научная проблема, заключающаяся в развитии теории и практики управления технологическими процессами мелкосерийных производств в условиях информационной и технологической трансформаций на основе совершенствования методологии создания систем управления производственными процессами и принципов реализации управляющих функций. Основные научные результаты и выводы, полученные в работе, состоят в следующем.

1. Определено, что технологическое перевооружение производственных мощностей включает в себя многоуровневые системы управления процессами и производствами, реализованные как связанные сложноподчинённые структуры, основанные на вычислительных сетях. Это определяет необходимость технико-экономического обоснования проектируемых систем.

2. Установлено, что поставляемые с технологическим оборудованием системы управления процессами и производствами рассчитаны на стабильность характеристик исходных сырьевых материалов. Несоблюдение этого требования приводит к тому, что алгоритмы и программное обеспечение систем управления нуждается в разработке альтернативных решений, учитывающих изменяющиеся условия. Это обуславливает необходимость трансформации традиционной классификации систем управления процессами и производствами, и учета на каждом уровне доли задач управления технологией и экономикой в многоуровневых системах управления производственными процессами.

3. В практике организации производства в странах СНГ предприятия авансируют налоги, что приводит к дефициту оборотных средств во второй половине планового периода, и обращению в банки за кредитными средствами, процентная ставка которых ещё более осложняет поддержание рентабельности производства. Это обуславливает необходимость учёта динамики движения средств и, в первую очередь, показателей себестоимости.

4. Доказано, что в существующей практике вычислительных процедур поиск решения осуществляется в области их определения путём перебора значений баз данных, что увеличивает время принятия решений и усложняет вычислительные процедуры.

5. Установлено, что на большинстве предприятий, производящих серебро, в качестве извлекающих элементов-сорбентов используются синтезируемые материалы высокой стоимости (около 20 тыс. долларов за тонну). Эти материалы могут быть заменены на отходы производства антибиотиков, стоимость которых на 4-5 порядков ниже. Применение таких материалов обуславливает изменение технологий, включающих в себя трёхуровневую систему управления процессом извлечения серебра.

6. Впервые сформированы методы представления систем управления процессами и производствами в трёхортовом пространстве, что позволяет осуществлять оценку полноты информации и выбор комплекса технических средств системы управления производственными процессами, повышающие экономическую эффективность технических проектов.

7. Обосновано, что представление систем управления производственными процессами в трёхортовом пространстве позволяет оценивать уровень отношений характеристик сырьевых материалов к алгоритму и программному обеспечению поставляемой технологии и систем управления процессами и производствами.

8. Получили дальнейшее развитие правила представления характеристик предприятия в функциональных пространствах, что позволяет связывать цели управления в многоуровневых системах в условиях соподчинённости задач управления технологических процессов и производств.

9. Обоснованы и предложены новые модели прогноза плановых показателей мелкосерийного производства, которые предусматривают расчёт заказов на сырьевые материалы путём обратного расчёта от изготовления продукции и эффективности их переработки в производстве, что позволяет принимать экономически-обоснованные решения в условиях экономической трансформации. Эффективность выполненных предложений оценена в размере 18.000 тыс. долларов (подтверждено актом опытно-промышленных испытаний).

10. Впервые сформированы правила определения критериев оценки качества в системах управления себестоимостью продукции с учётом оперативной информации об изменении технологических и экономических показателей, характеризующих технологическую трансформацию деятельности предприятия. Правила позволяют принимать обоснованные решения по управлению деятельностью предприятия. Опытнo-промышленная эксплуатация моделей и алгоритмов, предложенных в работе, позволила оценить эффективность принимаемых решений сокращением себестоимости на 15%.

11. Получили дальнейшее развитие правила сокращения процедур поиска решений и уменьшения размеров области определения функций и функционалов в алгоритмах управления. Эти правила основываются на отображении областей значений показателей и выделения эквивалентных (в логическом, нумерологическом, числовом и семантическом смыслах) и неэквивалентных множеств значений. Элементы неэквивалентных множеств исключаются из анализа данных.

12. Впервые сформированы правила создания трёхуровневой системы управления технологическим процессом биосорбции серебра из растворов. Предложенные модели и алгоритмы сочетают в себе решения взаимосвязанных с технологией экономических и организационных управлений. Акт опытно-промышленных испытаний оценивает точность прогноза по модели и рост производительности технологического участка не менее 20% в год.

13. Получили дальнейшее развитие методы создания динамической математической модели расчёта нестационарных процессов биосорбции и десорбции серебра, которые заключаются в оценке физико-химических превращений ионов серебра в среде антибиотиков. Это позволило реализовать новый технологический процесс четвёртого уровня иерархии и систему управления процессом извлечения серебра с высокими экономическими показателями.

14. Впервые разработаны динамические модели в алгоритме трёхуровневой системы управления производственными процессами с идентификатором в контуре управления, которые могут быть использованы при техническом проектировании систем четвёртого уровня иерархии — производственным участком любого предприятия.

15. Разработанные динамические модели и алгоритмы управления себестоимостью продукции содержат идентификатор в контуре управления, который допускает адаптацию алгоритмов и их применение в техническом проектировании аналогичных систем второго уровня иерархии — производственных цехов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

– публикации в ведущих рецензируемых научных журналах, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата и доктора наук, в Российской Федерации и Донецкой Народной Республике:

1. Криводубский, О.А. Методология, определяющая правила разработки моделей и алгоритмов систем управления в условиях информационной и технологической трансформации / О.А. Криводубский // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – Донецк, 2020. – № 1 (16). – С. 18–27.

2. **Криводубский, О.А.** Метод эквивалентных отображений в алгоритмах систем управления / О.А. Криводубский // Научный журнал «Информатика и кибернетика». – Д.: ДонНТУ, 2020. – №2(20). – С. 27–33.

3. **Криводубский, О.А.** Представление и отображение алгоритмов многоуровневых систем уравнения как образов / О.А. Криводубский, С. А. Зори // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – Донецк, 2020. – №2(17). – С. 20–27.

4. **Криводубский, О.А.** Представление многоуровневых систем управления предприятием в виде активной нейросети / О.А. Криводубский, С. А. Зори // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – Донецк, 2020. – №3(18). – С. 19–26.

– *публикации в рецензуемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК Украины:*

5. **Криводубский, О.А.** Представление систем управления в функциональных пространствах. / О.А. Криводубский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2003. – Вип. 64. – С. 205–211.

6. **Криводубский, О.А.** Обобщенное представление систем управления / О.А. Криводубский // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – Донецк, 2003. – №. 1 – С. 62–66.

7. **Криводубский, О.А.** Задачи планирования и управления в многоуровневых системах / О.А. Криводубский // Всеукраинский научно-технический межведомственный сборник «Автоматизированные системы управления и приборы автоматики». – Х.: ХНУРЭ, 2004. – № 125. – С. 98–106.

8. **Криводубский, О.А.** Задачи и функционалы управления предприятием / О.А. Криводубский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2004. – Вип. 74. – С. 233–240.

9. **Криводубский, О.А.** Обобщенное представление задач управления производством / О.А. Криводубский // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – Донецк, 2005. – №4. – С. 489–497.

10. **Криводубский, О.А.** Прогнозирование процессов биосорбции серебра / О.А. Криводубский, А.О. Новаковская // Системи обробки інформації: сб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. – Вип. 2 (76). – Х., 2009. – С. 113–117.

11. **Криводубский, О.А.** Прогнозирование процесса десорбции серебра / О.А. Криводубский, А.О. Новаковская // Радіоелектронні і комп'ютерні системи: сб. наук. пр. Нац. аерокосм. ун-ту ім. Н.Є. Жуковського «ХАІ». – Вип. 1 (35). – Х., 2009. – С. 93–99.

12. **Криводубский, О.А.** Математическая модель восстановления активных свойств сорбента / О.А. Криводубский, А.О. Новаковская // Информатика, кібернетика та обчислювальна техніка: сб. наук. пр. Донецького нац. технічного ун-ту. – Вип. 10 (153). – Д., 2009. – С. 251–254.

13. **Криводубский, О.А.** Математическая модель в управлении участком биосорбции серебра / О.А. Криводубский, А.О. Новаковская // Интегрированные компьютерные технологии в машиностроении. — Х.: ХАИ, 2009. – Т.2. – С. 10.

14. **Криводубский, О.А.** Логико-формальная модель упорядочения слябов при планировании производства проката / О.А. Криводубский, С.А. Косилов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк, 2009. – Вип. 16(147). – С. 163–170. – ISSN 1996-1588, ISSN 1680-0044, ISSN 2074-6652, ISSN 2073-9575.

15. **Криводубский, О.А.** Определение временных характеристик листопрокатного процесса / О.А. Криводубский, С.А. Косилов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Информатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – Донецьк, 2010. – Вип. 11 (164). – С. 172–180. – ISSN 1996-1588.

16. **Криводубский, О.А.** Постановка задачи планирования листопрокатного производства как задачи оптимального управления / О.А. Криводубский, С.А. Косилов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Информатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – Донецьк, 2011. – Вип. 13. – С. 173–179. – ISSN 1996-1588.

17. **Криводубский, О.А.** Решение задачи оптимального планирования выполнения заказов на листопрокатном производстве / О.А. Криводубский, С.А. Косилов // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Темат. вип.: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ "ХПІ", 2013. – № 2(976). – С. 13–21. – ISSN 2079-0023.

18. **Криводубский, О.А.** Игры Стакельберга и принятие решений в двухуровневых системах управления / О.А. Криводубский, А.А. Игнатов // Науковий журнал «Придніпровський науковий вісник». – Дніпропетровськ, 1998. – № 96(163). – С. 98–106.

19. **Криводубський, О.А.** Розробка динамічної моделі прогнозу собівартості продукції / О.А. Криводубський, А.Н. Шушура // Вісник ВПІ. – Вінниця, 2000. – № 1. – С. 25–28.

20. **Криводубский, О.А.** Принятие интеллектуальных решений по управлению себестоимостью продукции [Текст] / О.А. Криводубский, В.П. Кулинич // Искусственный интеллект. – Донецк, 2002. – №1. – С. 28–33.

21. **Криводубский, О.А.** Принятие решений по управлению себестоимостью продукции при нестационарных портфелях заказов / О.А. Криводубский, А.Н. Шушура // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серія: Информатика,

кибернетика и вычислительная техника. – Донецк: ДонНТУ. – 2002. – Вып. 39. – С. 193–200.

22. **Криводубский, О.А.** Принятие интеллектуальных решений по управлению себестоимостью продукции / О.А. Криводубский, А.Н. Шушура // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – Донецк, 2003. – №. 2. – С. 20–27.

23. **Криводубский, О.А.** Декомпозиция целей управления в многоуровневых системах [Текст] / О.А. Криводубский // Искусственный интеллект. – Донецк, 2004. – №1. – С. 204–208.

– *публикации по материалам научных конференций:*

24. **Криводубский, О.А.** Двухуровневое автоматизированное управление логистической системой / О.А. Криводубский, С.М. Селякова // Міжнародна науково-технічна конференція «Інтегровані компютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2007»: Тези доповідей – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2007. – С. 596–598.

25. **Криводубский, О.А.** Модели в многоуровневых системах управления [Текст] / О.А. Криводубский // Матеріали десятої міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформаційні технології». 20–24 травня 2008 р. – Київ: НТУ У «КПІ», 2008. – С. 94.

26. **Криводубский, О.А.** Критерий декомпозиции в многоуровневых системах управления / О.А. Криводубский // Сборник тезисов X Международной научно-технической конференции. Донецк: Изд. Института прикладной математики и механики НАН Украины, 2007. – С. 12–13.

27. **Криводубский, О.А.** Полиномы Лагерра в прогнозе деятельности предприятий в условиях ограниченных ресурсов / О.А. Криводубский, С.Г. Ковалёв // Сборник тезисов X Международной научно-технической конференции. Донецк: Изд. Института прикладной математики и механики НАН Украины, 2007. – С. 89.

28. **Криводубский, О.А.** Полиномы наилучшего приближения в прогнозе показателей деятельности предприятий / О.А. Криводубский, А.В. Грищенко // Сборник тезисов X Международной научно-технической конференции. Донецк: Изд. Института прикладной математики и механики НАН Украины, 2007. – С. 90–91.

29. **Криводубский, О.А.** Задачи управления предприятием / О.А. Криводубский, П.О. Чикунов // Міжнародна науково-технічна конференція «Інтегровані компютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2007»: Тези доповідей – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2007. – С.600–601.

30. **Криводубский, О.А.** Критерии декомпозиции систем управления / О.А. Криводубский // Матеріали загальноінститутської наукової конференції. – Донецьк: Донецький інститут автомобільного транспорту, 2008. – С. 141.

31. **Криводубский, О.А.** Проблемы экспертного оценивания решений в многоуровневых системах / О.А. Криводубский, Э.Г. Новаковская //

Одиннадцатая международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления», 14–21 сентября 2008: сборник тезисов. – Донецк: Изд. Инст. ПМиМ НАН Украины, 2008. – С. 116–117.

32. **Криводубский, О.А.** Поведенческие особенности СППР при анализе деятельности предприятия / О.А. Криводубский, Т.В. Нескороева // Одиннадцатая международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления», 14–21 сентября 2008: сборник тезисов. – Донецк: Изд. Инст. ПМиМ НАН Украины, 2008. – С. 86–87.

33. **Криводубский, О.А.** Задачи и критерии принятия решений при управлении предприятием / О.А. Криводубский, Э.Г. Новаковская // Двенадцатая международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления», 16–23 сентября 2009: сборник тезисов. – Донецк: Изд. Инст. ПМиМ НАН Украины, 2009. – С. 144–145.

34. **Криводубский, О.А.** Формализация технологических ограничений при планировании прокатного производства / О.А. Криводубский, С.А. Косилов // Двенадцатая международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления», 16–23 сентября 2009: сборник тезисов. – Донецк: Изд. Инст. ПМиМ НАН Украины, 2009. – С. 177–178.

35. **Криводубский, О.А.** Формализация задачи выбора оптимальных решений при планировании листопрокатного производства / О.А. Криводубский, С.А. Косилов // Тринадцатая международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления», 13–20 сентября 2010: Сборник тезисов. – Донецк: Изд. Инст. ПМиМ НАН Украины, 2010. – С. 132–133.

36. **Криводубский, О.А.** Разработка алгоритма принятия решения при планировании листопрокатного производства / О.А. Криводубский, С.А. Косилов // Пятнадцатая международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления», 9–16 сентября 2012: Сборник тезисов. – Донецк: Изд. Инст. ПМиМ НАН Украины, 2012. – С. 146–148.

37. **Криводубский, О.А.** Обобщённое представление систем управления / О.А. Криводубский, Э.Г. Новаковская // Тринадцатая международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления», 13–20 сентября 2010: Сборник тезисов. – Донецк: Изд. Инст. ПМиМ НАН Украины, 2010. – С. 124–125.

38. **Криводубский, О.А.** Современные аспекты принятия решений по управлению предприятиями / О.А. Криводубский, Э.Г. Новаковская // Четырнадцатая международная научно-техническая конференция «Моделирование, идентификация, синтез систем управления», 11–18

сентября 2011: Сборник тезисов. – Донецк: Изд. Инст. ПМиМ НАН Украины, 2011. – С. 130.

39. **Криводубский, О.А.** Синтез динамической системы управления прибылью предприятия / О.А. Криводубский, А.Н. Шушура // XXV ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Тезисы докладов Международной молодёжной научной конференции. Москва, 6–10 апреля 1999 г. – М: Изд-во «ЛАТМЭС», 1999. – Том 2. – С. 643–644. – ISSN 5-230-21205-5.

– публикации в других изданиях:

40. **Криводубский, О.А.** Прогноз оборачиваемости производственных фондов предприятия / О.А. Криводубский, А.В. Жилин // Математическое и информационное моделирование. – Тюмень: Изд-во ТГУ, 2000. – С.105–111.

В работах, выполненных в соавторстве, диссертанту принадлежит следующее: [10]–[13], [32] – выбор типа моделей по их целевому назначению, математического аппарата моделирования; [15], [24] – выбор переменных и обоснование показателей; [14] – выбор вида моделей; [16]–[17], [34]–[35] – постановка задач оптимального планирования, выбор математического аппарата; [18]–[19], [37], [39] – постановка задачи моделирования, выбор типа модели и метода идентификации; [20]–[22], [38], [40] – разработка алгоритмов и функциональной схемы системы принятия решений, выбор математического аппарата; [27]–[29] – формулировка задачи, выбор математического аппарата; [31] – постановка задачи трёхуровневой системы управления производственными процессами, разработка функциональной схемы; [33] – разработка функциональной структуры системы управления производственными процессами; [36] – разработка функциональной схемы алгоритма принятия решений.

АННОТАЦИЯ

Криводубский О. А. Развитие теоретических основ создания систем управления в условиях информационной и технологической трансформаций. — На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 — Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки) – ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», Донецк, 2020 г.

Диссертация посвящена развитию методов синтеза многоуровневых систем управления технологическими процессами и производствами.

Получила развитие методология представления объекта управления в трёххортовом пространстве — характеристики, информация, требования к объекту управления. Согласно этому, для объекта управления формализуется образ в векторном или ортонормированном пространстве. Этот образ может быть отображён на аналогичный образ, характеризующий комплекс технических средств, предлагаемых в техническом проекте. Отображения позволяют оценить полноту информации об объекте управления и

рационально выбрать конфигурацию комплекса технических средств разрабатываемой системы управления предприятием.

Трёхуровневое представление объекта управления также позволяет выбрать математический аппарат описания системы и создать алгоритм многоуровневой системы управления предприятием.

В таком представлении предприятие рассматривается как пятиуровневая структура, система управления которой подчинена взаимосвязям решения задач управления технологическими и экономическими процессами.

Созданы функционалы целей для всех пяти уровней управления, предусматривающие связность и подчинённость задач, решаемых на каждом уровне.

Разработаны математические модели и алгоритм трёхуровневой системы управления процессом биосорбции серебра, который базируется на извлекающих элементах – сорбентах, изготовленных из отходов производства антибиотиков. Реализация трёхуровневой системы управления процессом биосорбции серебра даёт возможность проектирования новой технологии, обладающей высокими технико-экономическими показателями.

Разработаны динамические модели прогноза физико-химических превращений ионов серебра в антибиотиках различных видов.

Процедуры параметрической идентификации модели реализованы в контуре трёхуровневой системы управления производственными процессами, что делает возможным при соответствующем обучении использовать модели и алгоритм при проектировании систем управления объектами четвёртого уровня родственных предприятий — производственными участками.

Разработаны математические модели, алгоритмы и программы для системы управления предприятием второго уровня иерархии — производственных цехов, которые позволяют путём обратного — от технологии и прямого — от сырьевых материалов рассчитывать производственную программу последовательной группы цехов.

Разработаны динамические модели, алгоритмы и программы расчёта себестоимости производственных подразделений второго уровня в оперативном режиме. Процедуры параметрической идентификации этой модели реализованы в контуре системы управления производственными процессами, что позволяет использовать эту разработку в техническом проектировании.

Модели, алгоритмы и программы, представленные в работе, прошли опытно-промышленную эксплуатацию, результаты которой подтвердили их адекватность и дали возможность оценить их проектную технологическую и экономическую значимость.

Ключевые слова: трёхуровневый, динамическая модель, функционал цели, уровень управления, биосорбция, себестоимость, параметрическая идентификация, производственная программа.

ABSTRACT

Krivodubski O. A. Development of theoretical foundations for the creation of control systems in conditions of information and technological transformations. – On the rights of a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.13.06 – Automation and control of technological processes and manufacturing (by industries) (technical sciences) – STATE HIGHER EDUCATION ESTABLISHMENT "DONETSK NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY", Donetsk, 2020.

The thesis is devoted to the development of methods of synthesis of multilevel control systems of technological processes and production.

The methodology for representing a control object in three-port space has been developed — characteristics, information, requirements for the control object. According to this, an image in a vector or orthonormal space is formalized for the control object. This image can be mapped to a similar image that characterizes the complex of technical means proposed in the technical design. Displays allow to assess completeness of information about the control object and to efficiently select the configuration of the set of technical means of the developed control system of enterprise.

The three-port representation of the control object also allows you to choose a mathematical apparatus for describing the system and create an algorithm for a multi-level control system of enterprise.

In this view, the enterprise is considered as a five-level structure, the management system of which is subordinate to the relationships of solving tasks of managing technological and economic processes.

Goal functionalities have been created for all five levels of management, providing for the connectivity and subordination of tasks solved at each level.

Mathematical models and an algorithm for a three-level control system for the silver biosorption process have been developed, which is based on extraction elements — sorbents made from waste from the production of antibiotics. The implementation of a three-level system for controlling the silver biosorption process makes it possible to design a new technology that has high technical and economic indicators.

Dynamic models for predicting the physicochemical transformations of silver ions in antibiotics of various types have been developed.

Parametric model identification procedures are implemented in the loop of a three-level control system for industrial processes, which makes it possible, with appropriate training, to use models and an algorithm when designing control systems for objects of the fourth level of related enterprises — production sites.

Mathematical models, algorithms and programs have been developed for the control system of enterprise of the second level of the hierarchy — production workshops, which allow, by reverse — from technology and direct — from raw materials, to calculate the production program of a sequential group of workshops.

Dynamic models, algorithms and programs for calculating the cost of second-level production units in online mode have been developed. Procedures for parametric identification of this model are implemented in the loop of the control system for industrial processes, which allows you to use this development in technical design.

The models, algorithms and programs presented in the work underwent pilot operation, the results of which confirmed their adequacy and made it possible to evaluate their design technological and economic significance.

Keywords: three-port, dynamic model, target functional, control level, biosorption, cost, parametric identification, production program.