

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИЙ

На правах рукописи

УДК 519.6:658.562

АЛИМОВА Дурдона Рустамовна

ДЕКОМПОЗИЦИОННО-КООРДИНИРУЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ
МОЮЩИХ СРЕДСТВ

Специальность: 5А 521802 - «Автоматизация технологических процессов и
производств»

Диссертация на соискание академической степени
магистра технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Игамбердиев Х.З.

ТАШКЕНТ – 2002

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	
ГЛАВА I. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ИЕРАРХИЧЕСКОГО МНОГОУРОВНЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ	
1.1. Задачи многоуровневого управления технологическими объектами	
1.2. Координация и локальное управление в иерархических многоуровневых системах	
1.3. Постановка цели и задач исследования	
ГЛАВА II. МЕТОДЫ ДЕКОМПОЗИЦИОННО- КООРДИНИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ	
2.1. Алгоритмы синтеза систем управления технологическими объектами на базе иерархических организационных структур	
2.2. Методы координации в иерархических системах управления.....	
2.3. Алгоритмы оптимальной координации решений в многоуровневых системах управления	
2.4. Методы согласования решений на основе координирующих решений	
2.5. Вычислительные схемы построения регулярных алгоритмов решения задач координации	
Выводы по главе	

ГЛАВА III. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДЕКОМПОЗИЦИОННО-КООРДИНИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ	
3.1. Формализация процедур описания связей между технологическими объектами в производстве синтетических моющих средств и задачи координационного управления	
3.2. Алгоритмы синтеза декомпозиционно- координирующего управления технологическими процессами производства синтетических моющих средств	
Выводы по главе	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	
ЛИТЕРАТУРА.....	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Создание и успешная реализация систем управления технологическими процессами и комплексами с непрерывным характером производства предполагают решение комплекса научных и технических задач, связанных с алгоритмизацией, моделированием и оптимизацией процессов производства, рассмотрением теоретических аспектов управления сложными системами, совершенствованием алгоритмов синтеза разнообразных вычислительных схем обработки информации и управления. При этом важным способом преодоления противоречий между желаемой простотой и потребностью учета широкого спектра производственных характеристик сложных технологических объектов и комплексов является иерархическое многоуровневое представление как объектов управления, так и процессов формирования управленческих решений. Такая многоуровневая структура предусматривает расчленение системы управления на ряд взаимодействующих подсистем, выявление между ними связей, соподчиненность уровней управления, сбор информации о состоянии подсистем, координацию структурных связей, реализацию принципов приспособления системы к действию сигнальных, параметрических и структурных возмущений.

Современное состояние теории и практики многоуровневого управления характеризуется интенсивной разработкой методов иерархического декомпозиционно-координирующего управления динамическими объектами. Тем не менее анализ основных литературных источников, посвященных данной проблеме, показывает, что, несмотря на наличие теоретических предпосылок к построению многоуровневых систем управления, недостаточно полно разработаны вопросы синтеза эффективных алгоритмов координации взаимодействия подсистем. В этой связи разработка эффективных алгоритмов иерархического

декомпозиционно-координирующего управления и их применение к конкретным технологическим объектам приобретает весьма актуальное значение.

Объект исследования. В качестве объекта исследования рассматривается класс технологических объектов с непрерывным характером производства, функционирующих в условиях воздействия на них параметрических, сигнальных и структурных возмущений.

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является разработка устойчивых алгоритмов декомпозиционно-координирующего управления технологическими объектами и их практическая реализация при решении задач автоматизации конкретных процессов производства.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи исследования:

- формализация задачи синтеза координирующих сигналов и алгоритмов решения задач координации подсистем в иерархических многоуровневых системах управления технологическими объектами;
- разработка устойчивых алгоритмов вычисления координирующих воздействий в системах декомпозиционно-координирующего управления технологическими объектами;
- практическая апробация разработанных устойчивых алгоритмов и вычислительных схем в задачах иерархического декомпозиционно-координирующего управления и синтеза локальных адаптивных систем управления конкретными технологическими объектами и комплексами.

Методы исследований. Для решения поставленных в работе задач использованы методы теории систем, системного анализа, иерархических многоуровневых систем и решения некорректно поставленных задач.

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в разработке устойчивых алгоритмов декомпозиционно-координирующего управления, способствующих повышению эффективности

функционирования систем управления сложными технологическими объектами.

Практическая ценность. Практическая значимость результатов работы заключается в разработке математического и алгоритмического обеспечения задач многоуровневого управления непрерывными технологическими объектами и комплексами. Разработанные устойчивые алгоритмы вычисления координирующих сигналов и синтеза локальных адаптивных систем управления могут найти широкое применение при автоматизации и многоуровневом управлении сложными технологическими процессами и производствами с непрерывным характером функционирования.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликованы 2 научные работы.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 80 наименований. Работа изложена на 79 страницах машинописного текста и содержит 8 рисунков.

ГЛАВА I. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ИЕРАРХИЧЕСКОГО МНОГОУРОВНЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

1.1. Задачи многоуровневого управления технологическими объектами

Современные промышленные предприятия характеризуются многообразием структур, различием физической природы элементов, разнотипностью связей между элементами, динамичностью и вероятностным характером производственных процессов, а также многокритериальностью функционирования [1-3]. Перечисленные признаки позволяют рассматривать предприятие как сложную систему

управления, включающую в себя объект управления в виде материально-производственной системы (управляемая подсистема) и регулятор в виде информационно-управляющей системы предприятия (управляющая подсистема) [4-7].

Автоматизация технологических процессов развивается по пути широкого использования средств вычислительной техники и требует, прежде всего, совершенствования методологии управления производством [1,3,8]. Сложность управляемого объекта определяется составом компонентов и способом связи между ними. Способ связи, в свою очередь, определяется целями функционирования объекта. Вследствие этого проблему функциональной структуризации системы управления необходимо решать на основе программно-целевого подхода, обеспечивающего наиболее эффективное достижение поставленных целей [9-12].

Большая размерность и сложность структуры общей задачи управления предприятием делают практически невозможным разработку единого алгоритма оптимального управления. Поэтому возникает проблема декомпозиции общей задачи управления на комплекс задач контроля, учета, прогнозирования, принятия решений как в сфере основной производственной деятельности предприятия, так и во вспомогательной сфере подготовки, обслуживания и обеспечения производства [9,13,14].

В результате декомпозиции получается многоуровневая иерархическая функциональная структура, в которой каждая задача верхнего уровня имеет приоритет действия по отношению к связанным с ней задачам нижнего уровня, причем период принятия решений у верхнего уровня больше, чем у нижнего, а заданиями для нижнего уровня являются решения задач верхнего уровня [9,14].

Решение задач на каждом уровне осуществляется с помощью моделей, соответствующих различным уровням описания

технологического процесса. Для разных технологических процессов характерно разное взаимодействие задач управления параметрами продукта и интенсивностью материальных потоков, что также находит свое отражение в структуре систем управления [1,9,15-17].

Вместе с тем декомпозиция, позволяя представить сложную систему в виде совокупности более простых компонентов, обуславливает необходимость интеграции выделенных компонентов в единый комплекс. Поэтому при построении систем управления методологические принципы и приемы декомпозиции и интеграции сложных систем должны рассматриваться совместно [15,17,18]. На практике их использование должно способствовать определению компонентов системы, их функций, способов связи и согласования компонентов, т.е. всё то, что определяет функциональную структуру системы управления [9,17].

Функциональная интеграция относится к числу основных направлений, которая определяет степень интегрированности систем управления и сущность интеграции процессов управления на различных этапах. При этом функции управления, охватывающие различные виды деятельности управляемого объекта, должны обеспечивать согласованное поведение всех элементов системы исходя из ее глобальной цели функционирования [9,18].

В целом иерархические структуры представляют собой комбинацию двух структурных схем управления [15,19,20]. Первое, из этих представлений связано с пространственной (горизонтальной) декомпозицией, использующей особенности слабых связей между отдельными подсистемами автоматизированного технологического комплекса (рис.1.1). Второе - с многоступенчатой (вертикальной) декомпозицией задач различного характера, решаемых автоматизированной системой управления технологическими процессами (рис.1.2). На первом, нижнем, уровне обеспечивается задача стабилизации параметров после каждой операции, допускающей контроль

перерабатываемого продукта. На втором уровне решается задача согласования значений управляющих воздействий для каждой операции с целью обеспечения параметра конечного продукта. Эта задача может решаться как задача оптимального управления, например, исходя из условий оптимального расхода ресурсов. На третьем уровне системы управления определяются необходимые значения параметров конечного продукта и перераспределения материальных потоков с целью выпуска соответствующего его количества с различными требуемыми параметрами (глобальная координация) [3,15,18, 20,21].

Решение задач на каждом уровне осуществляется с разным ритмом, что соответствует различным темпам изменения параметров модели технологического процесса на различных уровнях описания. На более низких уровнях эти изменения характеризуются более высокой частотой, что требует внесения более частых корректирующих воздействий [1,9,18,21].

Рассматривая управление производством как многоуровневую иерархическую систему с существенной долей субъективных представлений и оценок, следует особо подчеркнуть многоаспектность выделения уровней иерархии в такой системе.

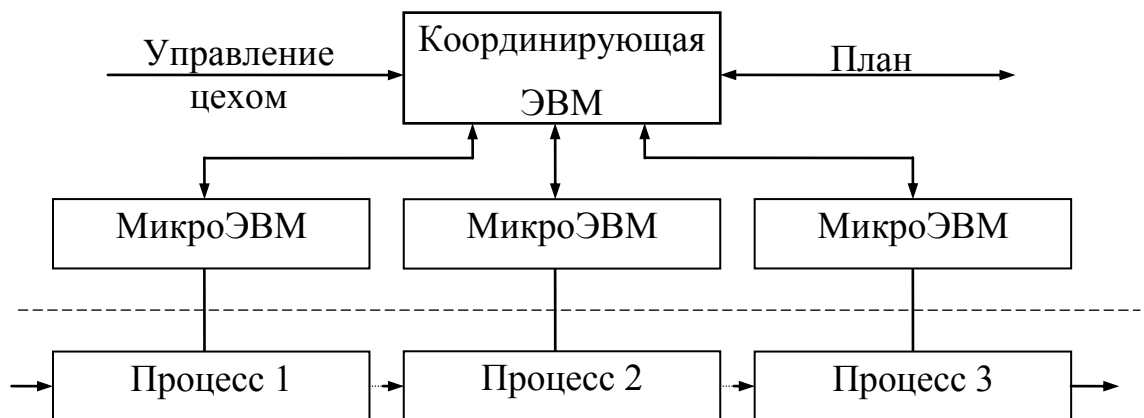


Рис. 1.1. Схема горизонтальной декомпозиции автоматизированного технологического комплекса



Существенной особенностью рассматриваемого класса систем является то, что управленческие решения в них формируются в условиях высокой степени неопределенности как статистического характера, так и порождаемой нечеткостью формируемых целей и ограничений [3,8].

Исходя из вводимых понятий уровней иерархии в рассматриваемом классе систем следует охарактеризовать задачи, решаемые на каждом уровне иерархии, их взаимосвязь и методы решения. При этом должна быть реализована совокупность взаимосвязанных моделей с разной степенью детализации, описывающих как объект управления, так и формируемые управленческие решения [8,15-19].

Существенные трудности в управлении современным производством сопряжены с необходимостью преодоления противоречий между желаемой простотой описания и потребностью учета широкого спектра производственных характеристик объекта управления, а также противоречий между требованиями оперативности формирования управленческого решения и глубины его проработки. Основным способом преодоления указанных противоречий является иерархическое представление как объекта управления, так и процесса формирования управленческих решений [8,11,15,22-24].

По сути, введение иерархической структуры сводится к выделению в системе отдельных звеньев, имеющих права принимать самостоятельные решения по определенному кругу вопросов, способных переработать за приемлемое время всю относящуюся к ним информацию и учесть все изменения конкретной ситуации [3,8,9,23]. Однако с введением иерархии в системах управления производством формирование управленческих решений усложняется в связи с неизбежностью противоречий между целым и его частями вследствие нетождественности интересов всей системы и ее отдельных звеньев. Поэтому применение многоуровневого подхода упрощает решение крупномасштабных задач управления производством лишь в случае удачного подбора многоуровневой структуры и упрощения задачи координации до такой степени, чтобы она была значительно проще исходной решаемой проблемы [8,25].

Следует отметить, что в классе многоуровневых систем особое место занимают многоуровневые системы управления динамическими объектами. Особенностью их является тот факт, что переход от одной совокупности установившихся значений управляемых координат таких объектов к другой совокупности осуществляется за определенное время; сам процесс перехода описывается дифференциальными или разностными уравнениями [23,24].

Декомпозиция задачи управления влечет за собой проблему координации. Можно встретить различные трактовки и неоднозначность использования термина «координация», например, «координируемость состояния элементов» [15], «согласование в иерархической системе» [25], «взаимоувязанность по формируемым управленческим решениям» [8] и т.д. В общем данная проблема состоит в создании механизма, обеспечивающего согласованность работы автономно функционирующих подсистем в многоуровневых системах управления. Согласованность понимается как в смысле выполнения глобальных ограничений, так и в смысле формирования перед подсистемами целей, согласованных с

глобальными целями системы. Для проведения такого согласования оказывается более эффективным иметь специальный координирующий орган, чем осуществлять непосредственный обмен информацией между всеми управляющими органами, что приводит к увеличению нагрузки на каждый управляющий орган. Этот координирующий орган имеет приоритет перед локальными органами управления, что приводит к иерархической структуре системы управления сложными объектами [15,17,21,25].

Таким образом, при декомпозиции технологического объекта управления появляются дополнительные зависимости между переменными и подсистемами, что обуславливает необходимость соблюдения соотношений между ними в течение переходного процесса, стабилизации переменных в установившемся режиме относительно внешних заданий и согласования взаимодействий между элементами системы, которые требуют разработки процедур синтеза декомпозиционно-координирующего управления. При этом основой для решения задач оптимального взаимодействия элементов системы является задача координации, являющаяся одной из основных задач при построении эффективных систем управления.

1.2. Координация и локальное управление в иерархических многоуровневых системах

В современных условиях возможности централизованных одноуровневых структур, основанные на использовании одно- или многомашинных вычислительных комплексов на базе управляющих ЭВМ, оказались полностью исчерпанными [3,8,10,26]: такие системы сложны в разработке, внедрении и эксплуатации, имеют низкую надежность и недостаточную отказоустойчивость (живучесть). Необходимость

дальнейшего увеличения общей информационной мощности (суммарного объема и скорости обработки данных) при одновременном значительном повышении нечувствительности к отказам неизбежно приводит к распараллеливанию процессов сбора, хранения, обработки и использования информации в автоматизированных системах управления технологическими процессами, а усложнение связей между составными частями системы требует улучшения координации этих процессов со стороны вышестоящих уровней управления [25,26].

В настоящее время кардинальное повышение технического уровня и технико-экономических показателей автоматизированных систем управления технологическими процессами все чаще связывают с принципами распределенного управления в иерархических структурах, когда относительно обособленные системы нижнего эшелона, сопряженные с объектом и оперативно-техническим персоналом, функционируют под наблюдением и управлением вышестоящих системных координаторов [1,8-10,26], которые, в свою очередь, могут быть связаны с вычислительными комплексами более высокого ранга (рис.1.3).

В современных многоуровневых децентрализованных системах управления отдельные локальные системы решают независимые локальные задачи регулирования, стабилизации, контроля, отображения информации и т.п. Необходимую координацию осуществляют управляющие вычислительные комплексы и оперативный персонал [25,27-29].

Рациональное, распределение функций между подсистемами позволяет «замкнуть» основные информационные потоки на локальных подсистемах, передавая наверх необходимый и достаточный (минимальный) для контроля и координации объем данных. Это существенно разгружает вычислительные комплексы и каналы связи, повышает отказоустойчивость и ремонтпригодность систем, обеспечивает возможность поэтапного совершенствования автоматизированных систем управления технологическими процессами [1,3,21,30].

Одновременно решается проблема существенного упрощения разработки, отладки и сопровождения прикладных программ, которая для централизованных многомашинных одноуровневых структур являлась одним из основных факторов, тормозивших создание и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами [31,32].

В распределенных автоматизированных системах управления технологическими процессами локальные системы" обычно территориально приближены к технологическому объекту управления и оперативному персоналу в локальных зонах (рис. 1.4), что позволяет уменьшить длину физических линий связи с датчиками, исполнительными устройствами, средствами ручного ввода и отображения информации и т.д.

При этом управляющий вычислительный комплекс, оперативно-диспетчерские комплексы и диспетчерский персонал образуют территориально рассредоточенный координирующий эшелон [3,25,27]. Территориальное рассредоточение дает возможным образом совместить техническую структуру со сложившимися на производстве технологической и организационной структурами; при этом в каждой локальной зоне создаются автоматизированные или автоматические системы управления, взаимосвязанные с координатором для достижения глобальной цели управления. В локальных зонах (рис.1.5) иерархическая структура сохраняется вплоть до нижнего сублокального уровня, организованного программируемыми контроллерами, в том числе «встроенными» в технологический объект управления.

При этом согласованность работы всех функционально независимых локальных комплексов и связь с вышестоящим уровнем обеспечивает локальный координатор [15,21,26].

Целесообразность декомпозиции технологических объектов управления в задачах синтеза децентрализованных систем управления определяется многими факторами, среди которых важнейшими являются требования по обеспечению слабости взаимодействия подсистем [1,3,18,23,24,33]. Данный тип декомпозиции ассоциируется с горизонтальной декомпозицией технологического комплекса, техническая реализация параллельных функций управления при которой обеспечивается средствами микропроцессорной техники. Снижение интенсивности взаимодействий осуществляется при фиксированной топологии связей за счет введения дополнительных устройств - координаторов (корректоров или компенсаторов), способы расчета которых зависят от выбранных методов и средств синтеза структуры систем управления [9,14,25].

Структурные отличия, порожденные используемым аппаратом, определяют различия в стратегиях управления. Так, обрыв связей между

координатором и локальными подсистемами означает переход к полностью децентрализованной (одноуровневой) схеме управления [1,25].

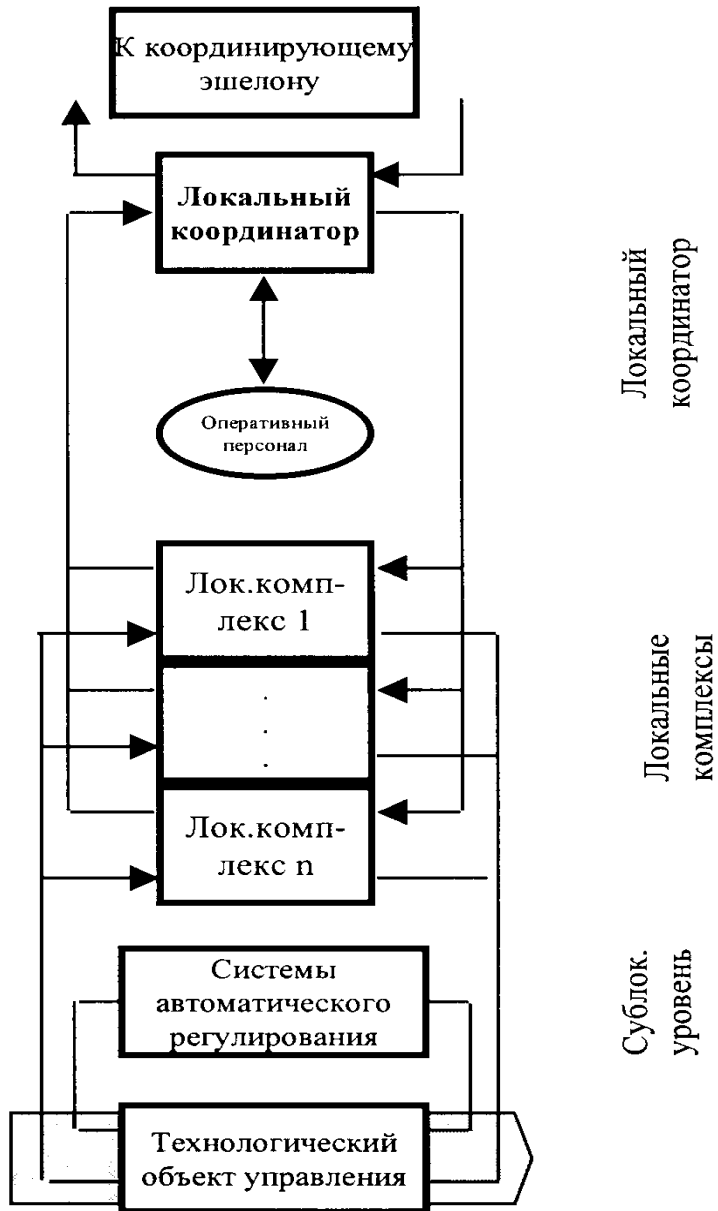


Рис.1.5. Функциональная декомпозиция локальной системы

Таким образом, ввиду того, что алгоритмы управления локальных подсистем не учитывают связей между отдельными подпроцессами, возникает, как было отмечено выше, проблема координации. Сущность

этой проблемы заключается в разработке системы более высокого иерархического уровня (синтез координатора), которая управляла бы локальными подсистемами таким образом, чтобы они функционировали согласованно и были подчинены общей цели [8,15,34,35].

При выполнении функции полезности управляющей единицы (координатора) и условия постоянства целевой функции возможны два принципиально различных метода координации, используемых верхней 'единицей и' различающихся инструментом координации: координация прямым методом и координация методом цен (механизм цен - частный случай принципа согласования взаимодействий [3,14,15]). Эти методы могут быть реализованы как в системе открытой петли, так и в виде закрытых петлевых итерационных схем, использующих механизм обратной связи. Причем обратная связь может осуществляться в направлении либо к локальным подсистемам, либо к координатору [8,26].

Для каждого из указанных методов верхняя единица может получить информацию о результатах деятельности локальных единиц без искажения целенаправленно в интересах локальных единиц [8,9,36,37]. В [25] дана методика определения «эффекта сжатия» информации между уровнями иерархии управления.

В теории иерархических многоуровневых систем разработано несколько принципов, пригодных для синтеза алгоритма функционирования координатора, которые подобны принципу обратной связи в теории автоматического регулирования и управления и являются центральным звеном при построении иерархических систем управления. Имеются два способа воздействия на локальные задачи оптимизации со стороны верхнего уровня: 1) через функцию качества координация путем изменения целей (метод целевой координации (или метод баланса взаимодействий [15])); 2) через изменение параметров множества связей в выделенном классе подпроцессов - координация путем изменения ограничений [34].

Первый способ предполагает задание не одной, а множества локальных функций качества, в результате чего координирующий сигнал направлен на выбор соответствующей функции качества функционирования из заданного числа управляющей, системы. В случае отсутствия возможностей для координации путем изменения целей используют координацию путем изменения ограничений на основе принципа развязывания (согласования [3,8]) взаимодействий и принципа прогнозирования взаимодействий между подсистемами нижнего уровня.

Принцип развязывания взаимодействий предполагает, что каждый нижестоящий, управляющий элемент получает право при решении собственной задачи управления рассматривать связующие входы подпроцессов как дополнительные переменные, которые он выбирает из собственных локальных критериев. Подлежащая решению задача управления нижнего уровня определяется в этом случае так, чтобы нижележащие элементы и подпроцессы были полностью «развязанными» (или автономными) [3,8,15].

Принцип прогнозирования взаимодействий предполагает, что координирующие сигналы содержат информацию о прогнозируемых значениях связей подпроцессов, которые будут иметь место при подаче управляющих воздействий, и заключается в распределении управляющих воздействий верхнего уровня между – подсистемами нижнего уровня таким образом, что каждая из подсистем становится автономной относительно других подсистем этого же уровня [1,34].

Принцип оценки взаимодействий в отличие от предыдущего принципа утверждает что задача координации решается всякий раз, когда ошибка прогнозирования находится в заданной области, т.е. не сообщает точных значений связующих сигналов, а лишь ограничивает области их изменения [3,8,18,34].

В теории иерархических многоуровневых систем [15] рассмотрены также вопросы применимости принципов координации, синтеза процедур координации и анализа скорости их сходимости.

Для математического исследования проблемы координации требуется описать процедуру координации элементов в пределах эшелона и взаимодействие между слоями. Модель слоя складывается из моделей центра и элементов нижнего уровня, описания взаимодействия между элементами и взаимодействия между локальным координатором и элементами [1,3,9]. Объект управления может, в свою очередь, рассматриваться как статическая или динамическая система, что также влияет на реализацию механизма координации [8,9,11,38].

В основу построения иерархических многоуровневых систем управления кладется принцип, естественно вытекающий из идеи введения верхних уровней для улучшения качества управления, обеспечиваемого нижними. Каждый уровень системы строится так, чтобы подсистема управления, включающая этот уровень и все нижележащие, обеспечивала бы наилучшее возможное приближение к идеальному режиму. Свойство независимости иерархических уровней управления обеспечивает высокую живучесть системы, так как при выходе из строя некоторого устройства верхних уровней вся нижележащая часть системы, обеспечивает наилучшее в данных условиях качество управления [3,39,40].

На каждом уровне системы, кроме верхнего, происходит формирование и передача на вышестоящий уровень сигнала, несущего информацию о локальных измерениях. В обратном направлении передается сигнал координации. При правильной группировке элементов нижних уровней задача координации требует передачи меньшей информации, чем задача локального управления. Кроме того, пропускная способность линий межуровневой связи ограничивает объем передаваемых сигналов. Таким образом, возникает задача агрегирования

сигналов, максимально сохраняющих данность передаваемой на верхние уровни информации [41,42].

Свойства независимости уровней и агрегирования передаваемой информации позволяют совместить синтез иерархической многоуровневой системы управления с выбором ее структуры [3,18,20,22,24].

Как видно из приведенной классификации основных методов и принципов координации в иерархических системах управления технологическими процессами и характеристик перечисленных методов, математическое описание и формализованная реализация любого механизма координации достаточно сложны. Сущность таких механизмов сводится к реализации на базе использования вычислительных средств и некоторых формализованных математических моделей [3,8,14,20,21] итерационного процесса, аналогичного тому, который осуществляется лицом, принимающим решения, на базе эвристических приемов и интуиции.

Выделение, постановка и решение задач управления по уровням иерархии управления осуществляются с учетом особенностей их объектной реализации при функционировании управляющей и управляемой частей системы. В этой связи можно заметить, что решение задач координации должно осуществляться совместно с решением задач управления и стабилизации режимов функционирования локальных объектов в соответствии с требованиями к качеству и объему выходной продукции.

1.3. Постановка цели и задач исследования

Выше было отмечено, что при реализации систем управления сложными производственно-технологическими объектами построением только лишь, одного уровня управления нельзя гарантировать того, что вся система будет функционировать эффективно, поскольку в этом случае

локальные цели подсистем могут оказаться несогласованными между собой и глобальной оптимизационной задачей. Поэтому необходимо дополнить систему управления вторым уровнем, на котором располагается координирующая подсистема, реализующая второй слой принятия решений для глобальной оптимизационной задачи [1,3,8,15,25].

Таким образом может быть построен координирующий уровень системы управления технологическим процессом. Цель координирующей подсистемы - вывести систему на номинальный режим при возникновении любого начального отклонения. Действия второго уровня можно интерпретировать как изменение уставок локальных регуляторов, обеспечивающих стабилизацию режима и нагрузки каждого отдельного агрегата. При этом изменение уставок опирается только на информацию о состоянии входных материальных потоков, но эта информация относится ко всей системе. Согласно постулату совместимости [3,15] при этом достигается глобальная цель системы, т.е. целевая функция принимает свое экстремальное значение.

Первостепенную важность имеет то обстоятельство, что непосредственное использование данного метода приводит к иерархической двухслойной структуре управления, в которой осуществляется принятие независимых решений по управлению «быстрыми» внутренними процессами в каждом из агрегатов (первый слой) и решений по координации работы агрегатов с целью управления материальными потоками (второй слой). В современных системах такой иерархии принятия, решений соответствует организационная структура, в которой для управления агрегатами (или группами агрегатов) предусматриваются отдельные управляющие подсистемы (локальные регуляторы), образующие первый эшелон системы управления технологическими процессами, а функции координации возложены на управляющие подсистемы второго эшелона, причем сам процесс

координации осуществляется путем изменения уставок локальных регуляторов [9,15,22,24].

Таким образом, при проектировании многоуровневых систем прежде всего возникают вопросы:

- синтеза подсистем управления, входящих в управляющую часть нижнего уровня системы;
- синтеза оптимальных с точки зрения того или иного критерия алгоритмов функционирования координирующих подсистем.

При увеличении числа уровней управления (введении в их структуру подсистем адаптации) задача разработки систем автоматического управления безусловно усложняется. Характерной особенностью проектируемых систем в этом случае является различие способов реализации нижних и верхних уровней управления. Поскольку последние обычно реализуются в виде цифровых вычислителей, возникают вопросы разработки соответствующих дискретных алгоритмов управления и их согласования с алгоритмами непрерывного управления для других уровней [22,41-44].

Важно также отметить, что при построении многоуровневых систем автоматизированного управления динамическими объектами особое внимание следует уделять самому нижнему уровню управления, который функционирует в непосредственном контакте с объектом [22,24,45].

При этом функции управления, охватывающие различные виды деятельности управляемого объекта, должны обеспечить согласованное поведение всех моментов системы исходя из ее глобальной цели функционирования [1,3,9,10,11,13]. Поэтому при построении систем управления методические принципы и примеры декомпозиции к интеграции сложных систем должны рассматриваться совместно [3,8,9,11,14,46]. Их использование на практике должно определить компоненты системы, их функции, способы связи и согласования

компонентов, то есть то, что предопределяет функциональную структуру системы управления [1,2,14,47,48].

Сложность управляемого, объекта определяется составом компонентов и способом связи между ними. Способ связи, в свою очередь, определяется целями функционирования объекта. Вследствие этого задачу функциональной структуризации системы управления целесообразно решать на основе блочно-модульного подхода, обеспечивающего наиболее эффективное достижение поставленных целей [1,8,9,22,46] путем решения задач координации и синтеза адаптивных систем управления локальными объектами.

При этом необходимо отметить, что адаптивная стабилизация технологического объекта в заданном режиме является одной из главных задач управления технологическим процессом в условиях неопределенности, обусловленной незнанием значений параметров объекта управления [3,22,48,49].

К настоящему времени известно большое число различных методов и алгоритмов координации в иерархических системах управления [8,9,20,21]. Некоторые подходы к решению задач координации приведены в работах [20,21,24,50,51]. Постановки задач и вычислительные особенности этих алгоритмов различны. Указанные методы отличаются, в основном, выбором координирующих функций, алгоритмами решения локальных задач элементов и определения оптимального координирующего сигнала [14,15,20,21].

Анализируя результаты работ [3,8,9,14,15,20,21,24,25], можно заметить, что решение задачи координации можно осуществлять с применением различных алгоритмических процедур безытеративных и итерационных методов.

При этом наиболее часто в многоуровневых системах управления технологическими процессами используются линейные процедуры

координации [14,20,21]. В ряде случаев [14,20,21,24] оказывается необходимым использование и нелинейных процедур координации.

Указанные методы, в свою очередь, имеют определенные достоинства и недостатки [14,20,21]. Принципиальный недостаток безытеративных алгоритмов координации состоит в необходимости определения и передачи на верхний уровень всего эффективного множества информации (или достаточно точной аппроксимации этого множества) [14,25]. Объем требуемых для этого вычислений резко возрастает с увеличением числа частных критериев элементов [9,10,18,52]. Кроме того, если вся информация поступает на верхний уровень, то при таком «эффекте сжатия» [25] информации данный уровень может рассматриваться просто как блок передачи информации.

Альтернативой в этом случае могут служить итеративные алгоритмы координации [20,21,53-55], в которых первоначально элементы определяют лишь часть эффективных точек (возможно, всего одну точку). Последующие эффективные точки определяются в ходе итеративного обмена информацией между элементами и центром [20,21,54]. Итеративные алгоритмы координации оказываются более эффективными, поскольку позволяют последовательно и более гибко осуществлять согласование процессов функционирования локальных подсистем.

Что же касается принципов и методов проектирования локальных систем управления на нижнем уровне иерархии, необходимо отметить, что во всех реальных технологических объектах управления их характеристики изменяются во времени, а истинные значения параметров объектов отличаются от принятых в их моделях [3,22]. Поэтому эффективное управление ими возможно только с применением адаптивных систем управления, реагирующих на изменения параметров управляемых объектов [22,55].

Как известно, в структурной схеме адаптивной системы управления можно выделить по крайней мере два уровня иерархии. Первый уровень -

основной контур, состоящий из управляемого процесса и регулятора, второй уровень включает устройство адаптации [3,22,24].

Декомпозиция структуры системы управления на два уровня позволяет упростить задачу формирования алгоритма работы системы, выделив в ней задачу построения основного контура и задачу отыскания алгоритмов работы устройства адаптации. Адаптивная система может иметь и более двух уровней иерархической структуры. В ряде случаев возникает необходимость применения адаптации в самом контуре адаптации, например, в случае осуществления параметрической обратной связи [3,22,55].

Таким образом, количество уровней иерархии, постановка задачи координации, выбор принципа координации и метода ее решения в реальных условиях производства существенным образом зависят от типовой структуры системы автоматического регулирования локальных подпроцессов, а также динамических характеристик и физических свойств объектов управления [10,11,16].

Рассмотренный в [25] подход к определению многослойной структуры и параметров регулятора является естественным результатом практических наблюдений и расчетов регуляторов и их настройке на объектах. Оказалось, однако, что этот же принцип может быть выведен как один из результатов решения так называемых обратных задач динамики управляемых систем, которые ставились в ряде работ [3,22,25]. В общем виде эта проблема сформулирована в [56] как построение эффективных приемов поиска таких управлений, которые позволяют реализовать назначаемые траектории движения в системе.

Однако, при практическом использовании известных алгоритмов координации и обратных задач динамики управляемых объектов возникают трудности вычислительного характера, связанные с тем обстоятельством, что эти задачи в условиях приближенного задания

исходных данных, как правило, относятся к классу некорректно поставленных задач [57-62].

Отмеченные особенности приводят к необходимости применения методов регуляризации, цель которых состоит в том, чтобы обеспечить ошибку решения такого же порядка, как и точность задания исходных данных [62,63]. Здесь в основу конструирования алгоритмов решения должна быть положена концепция состоятельности выбранного класса моделей с точки зрения их формальной сопоставимости по точности с наблюдениями.

Поэтому представляется необходимым проанализировать различные возможные подходы к решению задач координации и синтеза локальных адаптивных систем управления и выявить наиболее перспективные для практического использования и теоретического изучения метода и алгоритмы решения некорректно поставленных задач с точки зрения повышения точности функционирования многоуровневых систем управления технологическими объектами.

Изложенные выше выводы обусловили цель настоящей диссертационной работы, состоящей в разработке и исследованию устойчивых алгоритмов координации подсистем в иерархических многоуровневых системах управления, синтезе локальных систем автоматического управления технологическими объектами и их практическом применении при решении задач автоматизации конкретных процессов промышленного производства.

Достижение поставленной цели предполагает решение следующих основных задач:

– формализация задачи синтеза координирующих сигналов и алгоритмов решения задач координации подсистем в иерархических многоуровневых системах управления на основе методов решения некорректно поставленных задач;

– разработка устойчивых алгоритмов вычисления координирующих воздействий в системах декомпозиционно координирующего управления технологическими объектами;

– реализация принципов адаптации в сложных системах на базе иерархических организационных структур и разработка регулярных алгоритмов синтеза локальных многослойных систем адаптивного управления технологическими процессами;

– синтез общей структуры локальных адаптивных систем управления технологическими объектами в условиях наличия внешних и параметрических возмущений;

– практическая апробация разработанных устойчивых алгоритмов и вычислительных схем в задачах иерархического декомпозиционно-координирующего управления и синтеза локальных адаптивных систем управления конкретными технологическими объектами и комплексами.

Решение этих задач позволяет разработать устойчивые вычислительные схемы конструирования алгоритмов координации в иерархических многоуровневых системах управления и синтеза локальных адаптивных систем управления, способствующие обеспечению требуемой регулярности управленческих решений и позволяющие повысить качественные показатели функционирования систем управления непрерывными технологическими объектами и комплексами.

ГЛАВА II. МЕТОДЫ ДЕКОМПОЗИЦИОННО-КООРДИНИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

2.1. Алгоритмы синтеза систем управления технологическими объектами на базе иерархических организационных структур

Одним из важнейших задач при исследовании режимов работы многоуровневых иерархических систем управления является исследование структуры системы на приемлемом математическом языке, позволяющем

учитывать структурные, функциональные и информационные аспекты рассматриваемой системы.

Анализ работ в этом направлении показал, что для решения поставленной задачи применяются различные математические схемы, такие как структурные функции [64], графы и гиперграфы [65], алгебраические модели [15], агрегативные системы [66], сети Петри [67] и др.

Рассмотрим некоторые подходы к анализу и синтезу структур многоуровневых систем:

1. Формирование и исследование структуры многоуровневой системы обобщенным орграфом $G(W,E)$, где W - множество вершин, E - множество дуг. Формирование $G(W,E)$ можно осуществить алгебраическим путем, применяя S - суммирование и S - умножение подграфов $G_i(W_i,E_i)$, $i = \overline{1,n}$, n - количество подграфов, входящих в систему $W_i \in W$, $E_i \in E$; S - произведение $G_i(W_i,E_i)$ на $G_j(W_j,E_j)$, $i \neq j$, $i \in I_j$, $j \in I_{j+1}$, сразу формирует фрагмент структуры двух уровней j и $j+1$ I_j , I_{j+1} множества индексов элементов структур на уровне j и $j+1$ соответственно. Алгебраическая форма структур управления допускает применение простых алгоритмов последовательной детализации структур, начиная с укрупненной блок-схемы и заканчивая представлением вершин орграфа G в виде операторов алгоритмических языков. Этот подход позволяет построить модель, которая имитирует протекание процессов в иерархической системе.

2. Формирование и исследование структур орграфом $G(W,E)$,без циклов в виде сетевого, технологического и функционального графа. В этом случае S - функция позволяет формировать подмножества предшествования Γ_d и параллельных элементов Γ_d , d - индекс вершины G , $d \in W$, Γ_d , $P_d \subset W$, которые затем используются для построения параллельных цепочек из функциональных единиц.

3. Построение структур многоуровневых систем управления с помощью генератора структурной функции ГС, которые представляют собой конечный автомат, реализующий грамматически правильные структурные функции $Y \in D$. Входные последовательности автоматотернарные слова -могут вычисляться в соответствии с алгоритмами математического программирования.

4. Формирование и анализ структуры многоуровневой системы на основе информационных потоков, характеризующих функционирование системы управления. Следует отметить, что этот принцип формирования структуры системы управления полностью характеризует технологии функционирования объекта управления. При таком подходе производство описывается оргграфом G , вершины которого W_1, W_2, \dots, W_n соответствуют некоторым элементарным подпроцессам основного производственного процесса, а дуги E_1, E_2, \dots, E_m - направлением технологических потоков. Каждой дуге E_j сопоставляется вектор P_j $i = \overline{1, m}$, характеризующий соответствующий лоток. Компонентами вектора являются некоторые технологические параметры или операции. Каждой вершине W_i сопоставляется вектор S_i собственных управляющих воздействий.

Такой способ построения структуры позволяет возложить функцию координации на те элементы системы, которые связаны с несколькими из образовавшихся подсистем. Выявление характерных элементов структур выполняются на основе анализа возможных структур взаимодействия некоторого "главной" технологической операции производства с ансамблем подчиненных типовых технологических операций. Выявление взаимодействия типовых технологических операций, содержащих одну выделенную "главную" операцию (координатора) S и $m > 1$ подчиненных типовых технологических операций (Z_1, Z_2, \dots, Z_m) осуществляется путем анализа инцидентности элементов графа. Инцидентность вершин нижнего уровня управления с верхним (координатором) определяются на основе структурного анализа графа с помощью формулы Мезона [69]. В таком

производстве можно выделить следующие элементы структуры управления:

U_1 . Технологическая операция S выдает скаляр управления (одионочный поток команд-заданий). Вся управляющая информация U_1 принимается каждым из типовых технологических операций Z_1, Z_2, \dots, Z_m .

U_2 . S выдает m -мерный вектор управления U_2 . К операции $Z_i, i = \overline{1, m}$ поступает управляющая информация, содержащаяся в i -м элементе вектора U_2 .

U_3 . В S поступает m -мерный вектор кода условия U_3 . Элемент i вектора U_3 формируется в технологической операции Z_i .

U_4 . Типовые операции Z_i формируют m -мерный вектор кода условия Q_1 , элемент i вектора формируется операцией Z_i . В S код условия поступает в виде скаляра

U_4 , который формируется как результат свертки вектора Q_1 посредством некоторой функции $F, U_4 = F(Q_1)$.

U_5 . Технологические операции Z_i формируют m -мерный вектор кода условия Q_2 , элемент i вектора Q_2 формируется в операции Z_i . Над вектором Q_2 выполняется преобразование G , результатом которого является m -мерный вектор управления $U_5 = G(Q_2)$, i -й элемент которого используется для управления технологической операцией Z_i .

Если в рассматриваемом производстве технологические операции Z_i для всех $i = \overline{1, m}$ однотопным образом взаимодействуют с операцией S , приведенный пятый элемент позволяет моделировать любую из возможных структур управления.

Обозначив через $\langle S, U, Z_1, \dots, Z_k \rangle$ взаимодействие "главной" технологической операции S с группой типовых операций Z_1, \dots, Z_k ; посредством элемента U структуры управления $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$, взаимодействие типовых операций Z_m, Z_{m+1}, \dots, Z_k между собой через $\langle U_5, Z_m, Z_{m+1}, Z_k \rangle$ структуру управления производством, приведенную на рис. 1.1, можно описать следующим образом:

$\langle S.U^1, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 \rangle,$

$\langle S.U2, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8, Z_9, Z_{10} \rangle,$

$\langle S.U3, Z_8, Z_9, Z_{10} \rangle,$

$\langle S.U_4, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7 \rangle,$

$\langle U5, Z_5, Z_6, Z_7 \rangle$

Следует отметить, что каждая из технологических операций может иметь внутреннюю структуру, которая может быть описана аналогичным образом. При этом предлагаемый нами подход позволяет формировать структуру многоуровневой системы, как по вертикали, так и по горизонтали. Представление производства в виде многоуровневой конструкции из взаимодействующих по вертикали элементов имеет своей целью изучить ее по частям.

При использовании алгебраического подхода при формировании структур системы управления также решаются задачи восстановления состояний функционирования производственных процессов. При этом вводятся следующие понятия. Пусть $S = \{S_1, \dots, S_n\}$ – конечное множество подсистем производственной системы, а S_i – ее выделенная подсистема и $S_i \in E_m$, $i = \overline{1, n}$, где E_m – признаковое пространство. Подсистемы производственной системы описываются набором прототипных признаков, поэтому любую подсистему $s \in S$ можно представить в виде евклидова вектора $S = (X_{s_1}, \dots, X_{s_m})$ в признаковом пространстве E_m .

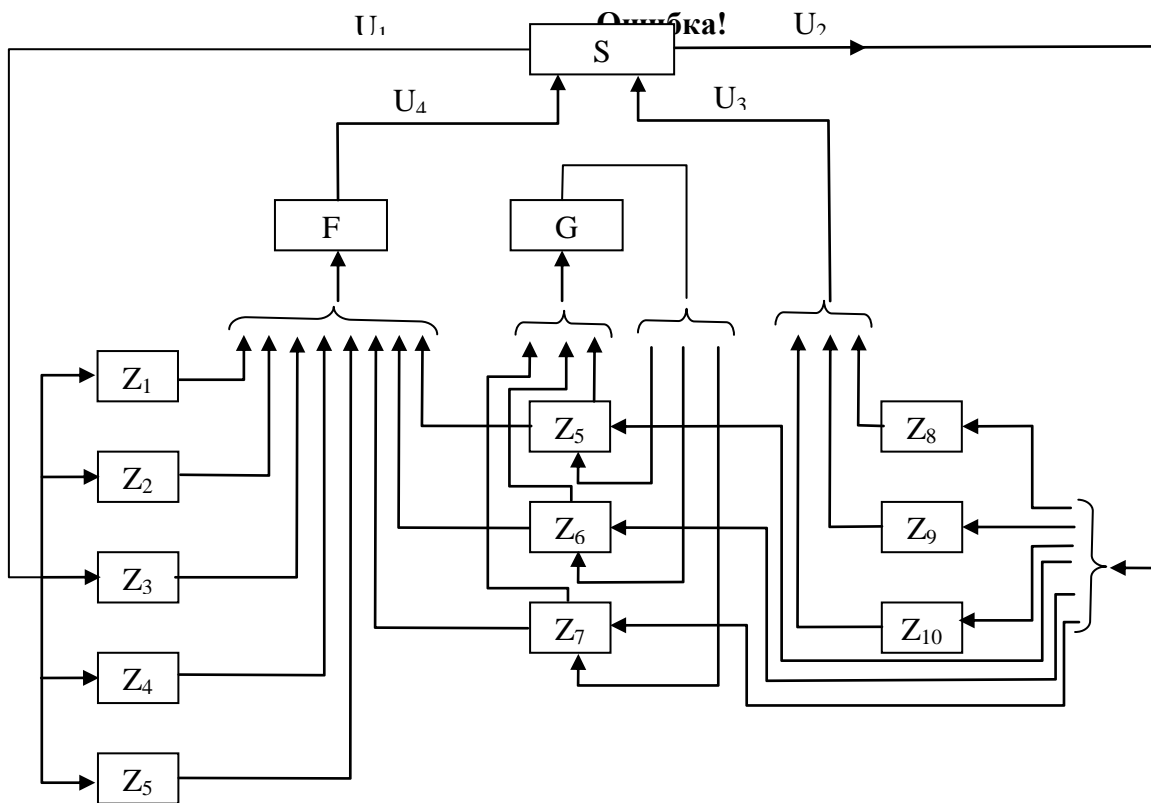


Рис. 2.1. Структура управления для $m=10$.

Пусть p - множество допустимых структур S в E_m , а $G=\{g_1, \dots, g_d\}$ - множество целей и задач, стоящих перед производственной системой. Связь структуры P с задачами G , стоящими перед ней, определяются воздействием задач на структуру, изменяющим связи между ее элементами.

По этой причине P и G считаются однотипными и требуется, чтобы гомоморфно отображались в P . Такое отображение $A:G \rightarrow P$ ставится в соответствии элементу $g \in G$ элементу $A(g)=P$, так, чтобы процесс решения задачи в производственной системе проявлялся лишь в настройке ее структуры, где P - некоторая структура состояния элементов S в E_m .

Изложенный принцип выделения структурных элементов системы носит достаточно общий характер и может быть использован для количественного анализа интенсивности материальных и информационных потоков. На этой основе можно анализировать

производственные ситуации путем обращения к нижним уровням управления.

2.2. МЕТОДЫ КООРДИНАЦИИ В ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Под координацией в многоуровневой системе понимают воздействия вышестоящих органов управления на нижестоящие подсистемы, обеспечивающие согласование действия последних, такое их взаимодействие, при котором достигается наилучшее решение всей задачи в целом [18].

Рассмотрим двухуровневую систему управления (рис.2.2). Задачу D , стоящую перед системой в целом назовем глобальной задачей. Декомпозиция приводит к выделению локальных задач D_i , $i=1,2,\dots,N$, решаемых подсистемами нижнего уровня, и одной задачи координации D_0 , которая возлагается на центральный орган управления (ЦОУ) – координатор. Если децентрализация основана на использовании механизма цен, то настройка цен входит в функции координатора.

В процессе управления между ЦОУ и управляющими органами $УУ_i$ нижестоящего уровня осуществляется обмен информацией. Координирующий сигнал γ конкретизирует задачи $D_i(\gamma)$ локальных подсистем. Он может включать два типа воздействий: воздействия λ , корректирующие целевые функции, критерии W_i нижестоящих элементов, и воздействия β , меняющие локальные ограничения $\Omega(u_i)$, условия, определяющие допустимую область решения локальных задач D_i , т.е. $\gamma = (\lambda, \beta)$. В первом случае иногда говорят о косвенном вмешательстве, во втором – о прямом.

Таким образом, формируется совокупность независимых при выбранном γ задач $\overline{D}(\gamma) = \{D_1(\gamma), \dots, D_N(\gamma)\}$. Естественно, что решения $u_i^0(\gamma)^0$

локальных задач D_i зависят от принятого γ . В свою очередь $\gamma \in \Gamma$ является решением задачи D_0 , выбирается из допустимого множества Γ и зависит от решений $u^0 = \|u_1^0, \dots, u_N^0\|^T$ нижестоящих элементов. В [44] изложены основы теории координации.

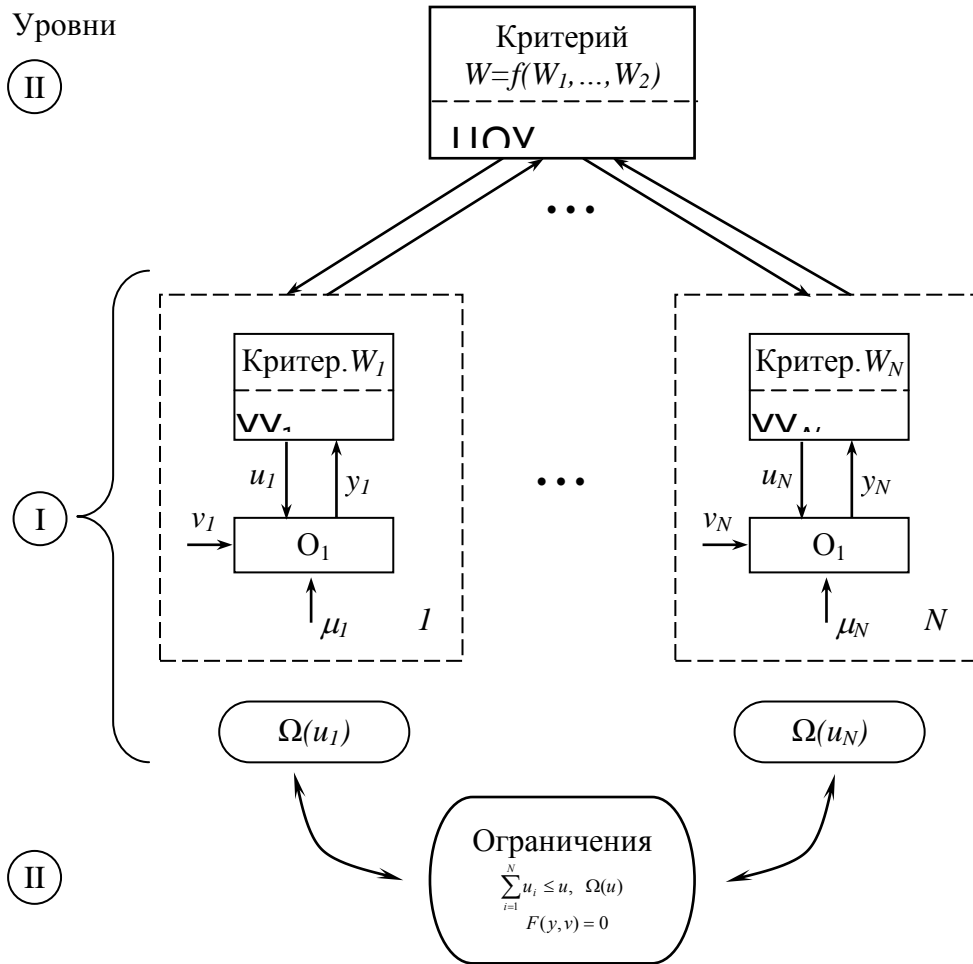


Рис. 2.2. Блок-схема двухуровневой системы управления.

Введены понятия координируемости и совместности целей в двухуровневой системе. Координируемость по отношению к задаче вышестоящего уровня имеет место в том случае, когда существуют такие $u_i^0, i=1, \dots, N$ и γ^0 , при которых одновременно достигается решение совокупности локальных задач $\overline{D(\gamma)}$ и задачи координатора D_0 . Локальные задачи $\overline{D(\gamma)}$ координируемы по отношению к глобальной задаче D , если существует такие решения $u_i^*(\gamma)$, которые в совокупности дают решение

задачи D . Другими словами, координатор, центральный орган управления имеет возможность так влиять на нижестоящие подсистемы, чтобы их результирующее действие обеспечивало бы решение глобальной задачи. В двухуровневой системе каждый элемент решает свою собственную задачу $D_i, i = 0, 1, \dots, N$, имеет свои собственные цели и критерии W_i . Ни один из элементов системы не решает всей глобальной задачи в целом. Совместимость всех задач и, соответственно, целей будет в том случае, если подсистемы одновременно координируемы по отношению к глобальной задаче и по отношению к задаче верхнего уровня. При этом подсистемы и координатор, выбирая свои управляющие воздействия из условия осуществления своих собственных целей, обеспечивают решение глобальной задачи и достижение глобальной цели.

В общей проблеме построение двухуровневых систем и двухуровневых процедур принятия решений можно выделить следующие постановку задачи и направления.

Проблема А. По заданной глобальной цели и совокупности ограничений провести рациональным образом декомпозицию системы (глобальной задачи), выделить подсистемы, сформулировать локальные задачи D_i и задачу координации D_0 , выявить цели, критерии, ограничения подсистем нижнего уровня и координатора. При этом должна быть обеспечена координируемость и совместимость задач.

Проблема Б. Для заданного набора подсистем, решающих локальные задачи D_0 , и заданной глобальной задаче найти такую задачу D_0 , решаемую координатором, чтобы система была координируема, а все задачи совместимы.

Проблема В. В двухуровневой системе для заданных глобальной задаче D и задаче координатора D_0 провести выбор или корректировку D_i нижнего уровня так, чтобы они были координируемы относительно задачи D_0 .

Проблема Г. Для заданных D_0 и D_i провести синтез алгоритмов координации и решения локальных задач, т.е. осуществить синтез координатора ЦОУ и локальных управляющих устройств УУ_i (рис.2.2.).

Пусть для системы, изображенной на рис.2.2, сформулирована глобальная задача в следующем виде:

$$W = \sum_{i=1}^N W_i(y_i, u_i, v_i) \sim \min_u,$$

$$u = \|u_1, \dots, u_N\|^T, y = \|y_1, \dots, y_N\|^T, v = \|v_1, \dots, v_N\|^T,$$

$$g_i(y_i, u_i, v_i) = 0, u_i \in \Omega(u_i), \quad (2.1)$$

$$v = Fy. \quad (2.2)$$

Здесь (2.1) – модель *i*-го объекта, локальные ограничения: (2.2) – модель связи; F – ($N \times N$) – матрица с элементами F_{ij} , причем хотя бы часть $F_{ij} \neq 0$ при $j \neq i$.

Множество таких j для каждого i обозначим

$$I_i = \{j / F_{ij} \neq 0 \text{ при } j \in I_i\}.$$

Для простоты считаем, что и $F_{ij} = 0$ и возмущения μ_i отсутствуют.

Уравнение связи между подсистемами (2.2) можно записать в развернутом виде

$$v_i - \sum_j F_{ij} y_j = 0; i = 1, \dots, N.$$

Критерий W сепарабельный.

Необходимо найти такой вектор управлений u , чтобы обеспечить минимум суммарных потерь W .

Считаем, что оптимальное решение существует и условия теоремы Куна-Таккера выполняются. Автономная минимизация локальных функций потерь W_i по управлениям u_i в общем случае не приводит к решению задачи из-за отсутствия согласования взаимодействия подсистем и нарушения условий связи (2.2). Проведем декомпозицию системы и сформулируем задачи D_i и D_0 так, чтобы система была координируема.

Воспользуемся методом множителей Лагранжа. Введем функцию Лагранжа

$$L = W + \lambda^T (v - Fy) = L(u, v, \lambda) = L(\omega, \lambda), \quad (2.3)$$

где $\lambda \geq 0$ – вектор множителей Лагранжа, $\lambda = \|\lambda_1, \dots, \lambda_N\|^T$, $\omega = \|uv\|^T$. Точка оптимума (ω^*, λ^*) совпадает с седловой точкой, для которой

$$L(\omega^*, \lambda^*) = \max_{\lambda} \min_{\omega} L(\omega, \lambda).$$

Преобразуем лагранжиан (2.3)

$$L = \sum_{i=1}^N W_i(y_i(\omega_i), \omega_i) + \sum_{i=1}^N \lambda_i \left[v_i - \sum_{j \in I_i} F_{ij} y_j(\omega_j) \right] = \sum_{i=1}^N L_i - \sum_{i=1}^N \lambda_i v_i, \quad (2.4)$$

где

$$L_i = W_i + \lambda_i v_i, \quad v_i = \sum_{j \in I_i} F_{ij} y_j(\omega_j).$$

Выражение (2.4) при фиксированных λ_i сепарабельно по отношению к векторам $\omega_i = \|u_i v_i\|^T$. Задача распадается на совокупность частных подзадач оптимизации

$$L_i(\omega_i^*, \lambda^*) = \min_{\omega_i} \{L_i \mid g_i(y_i, \omega_i) = 0, \quad \omega_i \in \Omega(\omega_i)\}.$$

Это задачи нижнего уровня, в которые λ входит как параметр. Решение их приводит к нахождению алгоритмов функционирования управляющих устройств УУ_i. Задача координации D₀ заключается в обеспечении $e = v(\lambda) - Fy = 0$ или $e_i = v_i^*(\lambda) - \sum_{j \in I_i} F_{ij} y_j[\omega_i^*(\lambda)] = 0, \quad i = 1, \dots, N$ путем выбора соответствующих значений параметров. Задача двойственная к исходной имеет вид

$$L(\omega^*, \lambda^*) = \max_{\lambda \in \Lambda} L(\omega^*, \lambda), \quad (2.5)$$

где

$$L(\omega^*, \lambda) = \min_{\omega} \sum_{i=1}^N L_i = \sum_{i=1}^N \min_{\omega_i} L_i \quad (2.6)$$

при ограничениях (2.1), Λ – множество λ , для которых \min в (2.6) существует. Оптимальное значение λ^* находится из условия (2.5) для этой цели может быть использован, например, алгоритм градиентного типа

$$\frac{d\lambda}{dt} = -e(\lambda), t \geq 0.$$

Существуют и другие, более эффективные алгоритмы оптимизации и настройки.

Таким образом, в системе рис.2.2 орган управления верхнего уровня ЦОУ осуществляет вмешательство в работу подсистем, задавая значения параметров λ и корректируя тем самым целевые функции устройств УУ_i. Для этого ему необходимо получать информацию о взаимодействии подсистем, о том, согласованы ли принимаемые решения u_i , выполняются ли глобальные ограничения (2.2) и чему равно рассогласование $e(\lambda)$. Если действия подсистем не согласованы, то выполняется корректировка λ . Способы координации и положенные в их основу принципы могут быть различными [18,40-44].

2.3. Алгоритмы оптимальной координации решений в многоуровневых системах управления

Интегрированная система управления предприятием, охватывая управление всеми сторонами деятельности предприятия, объединяет в единое целое отдельные элементы системы, подчиняя их функционирование основным целям системы. Определяющим принципом построения интегрированных систем управления является многоуровневая иерархическая концепция [15]. Объективная предпосылка иерархического управления обусловлена, в первую очередь, производственным фактором – наличием иерархической организации самих производственных

комплексов, а затем уже информационным фактором, связанным со сложностью задач управления.

Каждый производственный комплекс структурно можно представить в виде центрального органа («Центр»), ответственного за принятие решений во всем комплексе, который связан двусторонними связями со всеми подчиненными ему подсистемами [9].

Так, технологические установки, которые являются нижним уровнем в иерархической структуре управления, объединены в предприятие на основе единой схемы снабжения сырьем, единой системы энергоснабжения, водоснабжения, трубопроводов резервуарного хозяйства и т.д. и управляются органом вышестоящего уровня (руководство предприятия). При этом в каждой подсистеме управляющие воздействия должны формироваться не только с учетом собственных параметров состояния, но также взаимодействия с другими подсистемами и внешних возмущений.

Так как каждая подсистема оптимизирует свою функцию цели, то их деятельность в совокупности не обязательно будет направлена на достижение глобальной цели функционирования системы. Для достижения необходимого согласованного поведения подсистем исходя из глобальной цели системы действия локальных систем управления необходимо координировать. Для этого предназначен управляющий орган вышестоящего уровня – координатор. Интеграция поведения локальных подсистем достигается посредством координации. Применительно к интегрированным системам управления предприятием наибольшее развитие получили идеи двухуровневой координации. Разработаны аналитические методы, позволяющие распространить двухуровневую иерархию управления на любое число уровней.

Рассмотрим схему оптимальной координации решений в двухуровневых системах управления, состоящую из N элементов локальных систем нижнего уровня («Центра») [9]. Будем считать, что

вектор x_i относящиеся к i -му элементу нижнего уровня ($i=1, \dots, N$), должен удовлетворять локальным ограничениям

$$x_i \in S_i \subset E^{n_i}, \quad (2.7)$$

где S_i - множество в n_i -мерном евклидовом пространстве. При передаче информации на верхний уровень происходит ее агрегирование. Это значит, что «Центр» интересуют не сами переменные x_i , а некоторые показатели работы элементов нижнего уровня, являющиеся функциями этих переменных. Будем обозначать эти функции через $f_{ij}x_i, j=1, \dots, m_i$.

Так, если в качестве элементов нижнего уровня выступают технологические установки, то «Центр», который в данном случае совпадает с управляющим органом предприятия, интересуют такие обобщающие показатели работы установки, как количество выпускаемой на установке продуктов, их качественные показатели, технологические затраты. Эти величины зависят от технологических управляющих воздействий – температуры, давления, уровня и т.д., которые, однако, не передаются на верхний уровень. Размерность вектора x_i , как правило, значительно больше, чем число показателей m_i . Целевая функция и ограничения «Центра» записываются в виде

$$H_0(x_0, f_{11}(x_1), \dots, f_{1m_1}(x_1), \dots, f_{Nm_N}(x_N)) \rightarrow \max; \quad (2.8)$$

$$H_k(x_0, f_{11}(x_1), \dots, f_{1m_1}(x_1), \dots, f_{Nm_N}(x_N)) \geq b_k, \quad k = 1, \dots, M; \quad (2.9)$$

$$x_0 \in S_0, \quad (2.10)$$

где x_0 – вектор переменных «Центра»; S_0 – множество, которому должен принадлежать вектор x_0 .

Будем считать, что "Центр" стремится к увеличению значений показателей $f_{ij}(x_i)$. Математически это условие выражается в том, что предполагается справедливым следующее предположение.

Пусть $x^* = (x_0^*, x_1^*, \dots, x_N^*)$ – единственная оптимальная точка задачи (2.7)-(2.10). Тогда ни для одного $i=1, \dots, N$ не существует такой точки $\bar{x}_i \in S_i$, что

$$f_{ij}(\overline{x_i}) \in f_{ij}(x^*), j = 1, \dots, m_i,$$

где хотя бы для одного j неравенство выполняется строго. Смысл этого предположения заключается в том, что элементы не могут увеличить значение какого – либо показателя по сравнению с оптимальным точки зрения "Центра" значением, без уменьшения значений прочих показателей.

Пусть "Центр" распределяет централизованные ресурсы между элементами, производящими товарные продукты. Вектором "Центра" является вектор

$$x_0 = \{x_{0ik}\}, \quad i = 1, \dots, N; \quad k = 1, \dots, M,$$

где x_{0ik} – количество k -го ресурса, поставляемое i -му элементу.

Ограничения на количество имеющихся ресурсов записываются в виде

$$x_{0ik} \geq 0; \quad \sum_i x_{0ik} \leq b_k \quad k = 1, \dots, M,$$

Принимаем, что количество продуктов, производимых некоторым элементом, пропорционально суммарному количеству ресурсов, выделенных элементу

$$f_{ij} = Z_i \varphi_{ij}(u_i),$$

$$u_i \in U_i; \quad j = 1, \dots, l_i; \quad i = 1, \dots, N,$$

где f_{ij} - количество j -го товарного продукта, выпускаемого i -м элементом;

$Z_i = \sum_k x_{0ik}$ - суммарное количество ресурсов, выделенных i -му элементу; u_i

- вектор технологических управляющих воздействий i -го элемента; U_i - допустимое технологическое множество.

Требуется максимизировать целевую функцию

$$H_0 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_{ij} f_{ij} - \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M d_{ik} x_{0ik} \rightarrow \max,$$

где c_{ij} - цена j -го продукта, производимого i -м элементом; d_{ik} - стоимость единицы k -го ресурса, поставляемого i -му элементу.

В принятых выше обозначениях задача примет вид:

$$H_0 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_{ik} f_{ij} - \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M d_{ik} x_{0ik} \rightarrow \max;$$

$$H_i = f_{im_i} + \sum_k x_{0ik} \geq 0, \quad m_i = l_i + 1;$$

$$\bar{H} = -f_{im_i} - \sum_k x_{0ik} \geq 0;$$

$$x_0 \in S = \left\{ x_0 \mid x_{0ik} \geq 0; \sum_i x_{0ik} \leq b_k, \quad k = 1, \dots, M \right\};$$

$$f_{ij} = Z_i \varphi_{ij}(u_i), \quad j = 1, \dots, l_i;$$

$$f_{im_i} = -Z_i;$$

$$x_i = (Z_i, u_i) \in S_i = \{x_i \mid Z_i \geq 0; \quad u_i \in U_i\}$$

Функции \bar{H}_i являются убывающими по переменным f_{im_i} . Однако если $x_0^1, x_1^1, \dots, x_N^1$, - некоторое допустимое решение и $x_i^2 \in S_i$, $f_{ij}(x_i^2) \geq f_{ij}(x_i^1)$, $i = 1, \dots, N$; $j = 1, \dots, m_i$, то, очевидно, существует такая точка x_0^2 , что $\sum_k x_{0ik}^2 = -f_{im_i}^2$, причем $x_{0ik}^2 \leq x_{0ik}^1$, поэтому $x_0^2 \in S_0$;

$$H_0(x_0^2, F_1^2, \dots, F_n^2) \geq H_0(x_0^1, F_1^1, \dots, F_n^1);$$

$$H_i(x_0^2, F_i^2) = H_i(x_0^1, F_i^1) = 0;$$

$$\bar{H}_i(x_0^2, F_i^2) = H_i(x_0^1, F_i^1) = 0,$$

$$H_0(x_0, f_{11}, \dots, f_{im_1}, \dots, f_{Nm_N}) \rightarrow \max; \quad (2.11)$$

$$H_k(x_0, f_{11}, \dots, f_{im_1}, \dots, f_{Nm_N}) \geq b_k, \quad k = 1, \dots, M; \quad (2.12)$$

$$F_i(f_i, \dots, f_{im_i}) \in S_i^F,$$

где

$$S_i^F = \{F_i \mid F_i = F_i(x_i), x_i \in S_i\}, \quad (2.13)$$

В задаче (2.11)-(2.13) учитывают лишь переменные, входящие в модель "Центра". Размерность этой задачи значительно меньше, чем размерность задачи (2.7)-(2.10).

Выделим подмножества множеств S_i^F , в которых содержится оптимальная точка, и рассмотрим методы определения этих подмножеств.

Пусть

$P_i^x = \{x_i^0 | x_i^0 \in S_i, \text{ и } \exists x_i \in S_i \text{ такого, что}$

$$F_i(x_i) > F_i(x_i^0)\};$$

$$P_i^F = \{F_i^0 | F_i^0 = F_i(x_i^0), x_i^0 \in P_i^x,$$

где P_i^x и P_i^F множества Парето (или множества эффективных точек) в пространстве переменных и показателей соответственно. Из определения множеств P_i^F следует, что $P_i^F \subset S_i^F$, $x_i^* \in P_i^x$, $F_i^* \in P_i^F$.

Таким образом, задача (2.11)-(2.13) будет эквивалентна следующей задаче:

$$H_0(x_0, f_{11}, \dots, f_{im_1}, \dots, f_{Nm_N}) \rightarrow \max;$$

$$H_k(x_0, f_{11}, \dots, f_{im_1}, \dots, f_{Nm_N}) \geq b_k, \quad k = 1, \dots, M;$$

$$F_i = (f_{i1}, \dots, f_{im_i}) \in Q_i^F, x_0 \in S_0$$

где Q_i^F - некоторое множество, удовлетворяющее условию

$$P_i^F \subset Q_i^F \subset S_i^F$$

В частности, в качестве Q_i^F может служить P_i^F . Укажем теперь вид множеств Q_i^F и способы определения этих множеств для некоторых частных случаев.

Начнем с рассмотрения линейного случая, когда множества S_i являются ограниченными многогранниками, а функции $f_{ij}(x_i)$ и $H_k(\cdot)$ ($k=0, \dots, M$) являются линейными. В этом случае задача принимает вид:

$$H_0 = \sum_{i=1}^N (a_{0i}, F_i) + (d_0, x_0) \rightarrow \max; \quad (2.14)$$

$$H_k = \sum_{i=1}^N (a_{ki}, F_i) + (d_k, x_0) \geq b_k, \quad k = 1, \dots, M; \quad (2.15)$$

$$f_{ij} = (c_{ij}, x_i), x_i \in S_i, \quad i = 0, \dots, N. \quad (2.16)$$

Пусть $S_{ikp} = \{x_i^1, \dots, x_i^{r_i}\}$ - множество крайних точек многогранника S_i ;

$$P_{ikp}^x = S_{ikp} \cap P_i^x = \{x_i^1, \dots, x_i^{t_i}\}, t_i \leq r_i,$$

– точки из множества S_{ikp} , которые принадлежат множеству Парето P_i^x .
Для простоты обозначений примем, что этими точками являются первые t_i точки множества S_{ikp} :

$$P_{ikp}^x = \{F_i | F_i(x_i), x_i \in P_{ikp}^x\}$$

- образ множества P_{ikp}^x в пространстве показателей; $Q_i^x = coP_{ikp}^x$ - выпуклая оболочка P_{ikp}^x ; $Q_i^x = \{F_i | F_i(x_i), x_i \in Q_i^x\}$.

Условие $F_i \in Q_i^F$ эквивалентно условию

$$F_i = \sum_{l=1}^{t_i} \lambda_{li} F_i^l, \quad \sum_{l=1}^{t_i} \lambda_{li} = 1, \quad (2.17)$$

где $F_i^l = F_i(x_i^l)$, $x_i^l \in P_{ikp}^x$

С учетом (2.17) получим, что задача (2.14)-(2.16) будет эквивалентно следующей:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^{t_i} \lambda_{il} (a_{0i}, F_i^l) + (d_0, x_0) \rightarrow \max; \\ & \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^{t_i} \lambda_{il} (a_{ki}, F_i^l) + (d_k, x_0) \geq b_k, \quad k = 1, \dots, M; \\ & \sum_{l=1}^{t_i} \lambda_{il} = 1, \quad i = 0, \dots, N. \end{aligned}$$

Точки F_i^l находятся с помощью так называемого многокритериального симплекс-метода, являющегося обобщением обычного симплекс-метода.

Рассмотрим теперь выпуклый случай. Будем считать, что функции $H_k(\cdot)$ по-прежнему являются линейными, множества S_i являются выпуклыми, а функции $f_{ij}(x_i)$ - вогнутыми. Для простоты будем считать, что вектор переменных "Центра" x_0 отсутствует. В пространстве показателей задача имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} H_0 &= \sum_{i=1}^N (a_{0i}, F_i) \rightarrow \max; \\ H_k &= \sum_{i=1}^N (a_{ki}, F_i) \geq b_k, \quad k = 1, \dots, M; \end{aligned}$$

$$F_i = (f_{i1}, \dots, f_{im}) \in S_i^F;$$

$$S_i^F = \{F_i | F_i = F_i(x_i), x_i \in S_i\}$$

где функции $f_{ij}(x_i)$ являются вогнутыми, а множества S_i выпуклыми.

Покажем, что в рассматриваемой задаче вместо условия $F_i \in S_i^F$ можно написать $F_i \in coP_i^F$. Рассмотрим задачу

$$H_0 = \sum_{i=1}^N (a_{0i}, F_i) \rightarrow \max; \quad (2.18)$$

$$H_k = \sum_{i=1}^N (a_{ki}, F_i) \geq b_k, \quad k = 1, \dots, M; \quad (2.19)$$

$$F_i \in coP_i^F, a_{ki} \geq 0. \quad (2.20)$$

Пусть выполняется хотя бы одно из следующих двух условий:

- а) задача (2.18)-(2.20) имеет единственное решение;
- б) векторы a_{0i} являются положительными, т.е. $a_{0i} > 0$.

Тогда, если $F^* = (F_1^*, \dots, F_N^*)$ – оптимальная точка задачи (2.18)-(2.20), то $F_i^* \in P_i^F \subset S_i^F$.

Таким образом, исходная задача эквивалентна задаче (2.18)-(2.20).

2.4. Методы согласования решений на основе координирующих решений

Эффективные точки, определяемые в результате решения задач локальной оптимизации, являются функциями координирующих сигналов. С помощью этих функций, которые будем называть координирующими, осуществляется переход к эквивалентной задаче, переменными которой являются не показатели F_i , определенные на множестве P_i^F а координирующие сигналы, причем множество допустимых координирующих сигналов имеет более простую структуру, чем P_i^F . Такой подход применим и для невыпуклого случая.

Итак, пусть Ω_i - некоторое множество в пространстве показателей. Функцию $\bar{F}(\omega_i), \omega_i \in \Omega_i$ называют координирующей [9], если выполняются два условия:

а) для $\forall \omega_i \in \Omega_i \bar{F}(\omega_i) \in P_i^F$;

б) обратно, если F_i^0 - произвольная точка из множества P_i^F , то существует такая $\omega_i^0 \in \Omega_i$, что $\bar{F}(\omega_i^0) \in F_i^0$.

Из определения координирующей функции следует, что задачу можно записать в следующей эквивалентной форме:

$$\begin{aligned} H_0(x_0, \bar{F}_1(\omega_1), \dots, \bar{F}_N(\omega_N)) &\rightarrow \max; \\ H_k(x, \bar{F}_1(\omega_1), \dots, \bar{F}_N(\omega_N)) &\geq b_k, \quad k = 1, \dots, m; \\ \omega_i &\in Q_i^F, x_0 \in S_o \end{aligned}$$

Укажем несколько видов координирующих функций. Пусть

$$\left. \begin{aligned} \Omega_i^1 &= \left\{ (\omega_{i1}, \dots, \omega_{im_i}) \left| \sum_{j=1}^{m_i} \omega_{ij} = 1, \omega_{ij} > 0 \right. \right\}; \\ R_i^1(x_i, \omega_i) &= \sum_{j=1}^{m_i} \omega_{ij} f_{ij}(x_i), \quad \omega_i = (\omega_{i1}, \dots, \omega_{im_i}) \in \Omega_i^1; \\ R_i^2(x_i, \omega_i) &= \sum_{j=1}^{m_i} \omega_{ij} (f_{ij}^0 - f_{ij}(x_i))^2; \quad \omega_i \in \Omega_i^1; \\ \text{где } f_{ij}^0 &= \max_{x_i \in S_i} f_{ij}(x_i) \\ R_i^3(x_i, \omega_i) &= \min_j \omega_{ij} f_{ij}, \quad \omega_i \in \Omega_i^1; \\ \Omega_i^2 &= \left\{ (\omega_{i0}, \omega_{i1}, \dots, \omega_{im_i}) \left| \omega_{i0} \geq 1, \sum_{j=1}^{m_i} \omega_{ij} = 1, \omega_{ij} > 0 \right. \right\}; \\ R_i^4 &= \left[\sum_{i=1}^{m_i} \omega_{ij} f_{ij}(x_i)^{\omega_0} \right]^{1/100}, \quad \omega = (\omega_{i0}, \omega_{i1}, \dots, \omega_{im_i}) \in \Omega_i^2; \\ x_i^-(\omega_i) &= \text{Arg max}_{x_i \in S_i} R_i^k(x_i, \omega_i), \quad k = 1, 3, 4; \\ x_i^{-2}(\omega_i) &= \text{Arg min}_{x_i \in S_i} R_i^2(x_i, \omega_i); \\ \bar{F}_i^k(\omega_i) &= F_i^k(x_i^-(\omega_i)), \quad k = 1, 2, 3, 4. \end{aligned} \right\}$$

Можно показать [9,21], что если функции $f_{ij}(x_i)$ вогнутые, а множества S_i - выпуклые, то функции $\bar{F}_i^1(\omega_i)$ и $\bar{F}_i^2(\omega_i)$ являются

координирующими, причем функция $\bar{F}_i^2(\omega_1)$ является непрерывной. Для функции $\bar{F}_i^1(\omega_1)$ непрерывность можно доказать при условии строгой вогнутости функций $f_{ij}(x_i)$.

В [9,54] показано, что условия координируемости выполняются также и для функций $\bar{F}_i^3(\omega_1), \bar{F}_i^4(\omega_1)$, а предположения о выпуклости для этих функций не требуются. Для разных элементов можно выбрать различные координирующие функции в зависимости от свойств множеств S_i и функций f_{ij} . Для тех элементов, для которых множества S_i -выпуклые, а функции $f_{ij}(x_i)$ - строго вогнутые, в качестве координирующей целесообразно выбрать функцию $\bar{F}_i^1(\omega_1)$, так как для этого случая функция будет непрерывной, а для ее определения требуется решать сравнительно простые локальные задачи оптимизации вида

$$\max_{x_i \in S_i} \left(\sum_j \omega_{ij} f_{ij}(x_i, \cdot) \right), \quad (2.21)$$

являющиеся задачами выпуклого программирования.

Если функции $f_{ij}(x_i, \cdot)$ являются квадратическими, а множества S_i задаются линейными ограничениями (этот случай часто встречается на практике), то задача (2.21) является задачей квадратического программирования.

Для тех элементов, для которых множества S_i выпуклые, а функции $f_{ij}(x_i, \cdot)$ - вогнутые (нестрого), в качестве координирующей можно выбрать функцию $\bar{F}_i^2(\omega_1)$. Локальные задачи оптимизации при этом имеют вид:

$$\max_{x_i \in S_i} \left(\sum_j \omega_{ij} (f_{ij}^0 - f_{ij}(x_i, \cdot)) \right)^2$$

и являются задачами выпуклого программирования. В общем случае в качестве координирующей следует выбирать функции $\bar{F}_i^3(\omega_1)$ или $\bar{F}_i^4(\omega_1)$. Можно построить большое число алгоритмов для решения локальных задач оптимизации и координирующей задачи.

Рассмотрим один из возможных алгоритмов для решения рассмотренной задачи распределения централизованных ресурсов:

$$H_0 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_{ij} f_{ij} - \sum_i \sum_k d_{ik} x_{0ik} \rightarrow \max$$

$$x_{0ik} \geq 0, \sum_i x_{0ik} \leq b_k, k = 1, \dots, M;$$

$$f_{ij} = Z_i \varphi_{ij}(u_i), \quad u_i \in U, \quad j = 1, \dots, l_i,$$

$$Z_i = \sum_i x_{0ik}.$$

Вектором "Центра" является вектор $x_0 = \{x_{0ik}\}$, а локальными переменными являются u_i . В качестве векторного критерия i -го элемента можно выбрать вектор $F_i = (\varphi_{i1}(u_i), \dots, \varphi_{il_i}(u_i))$. Если $\bar{F}_i = (\bar{\varphi}_{i1}(u_i), \dots, \bar{\varphi}_{il_i}(u_i))$ - некоторая координирующая функция из числа указанных ранее, то эквивалентная задача принимает следующий вид:

$$H_0 = \sum_i \sum_j \sum_k c_{ij} \bar{\varphi}_{ij}(\omega_i) x_{0ik} - \sum_i \sum_k d_{ik} x_{0ik}; \quad (2.22)$$

$$\sum_i x_{0ik} \leq b_k, k = 1, \dots, M; \quad (2.23)$$

$$\omega_i \in \Omega_i = \left\{ (\omega_{i1}, \dots, \omega_{il_i}) \left| \sum_j \omega_{ij} = 1, \quad \omega_{ij} \leq 0 \right. \right\}. \quad (2.24)$$

Если зафиксировать координирующие сигналы ω_i и вычислить функции $\bar{\varphi}_{ij}(\omega_i)$ то задача (2.22)-(2.24) становится задачей линейного программирования с блочной структурой, алгоритмы решения которой хорошо известны [9,21,23].

2.5. Вычислительные схемы построения регулярных алгоритмов решения задач координации

Рассмотрим вопросы координации подсистем при решении задач иерархической оптимизации и многоуровневого управления линейными

системами при квадратической критериальной функции. Такого рода задачи являются наиболее распространенными [9,10] и приводят к построению разомкнутых систем управления, т.е. к такому управлению, при котором выбор начальных состояний не является прямой функцией текущих состояний.

Предположим, что система в целом содержит N взаимосвязанных подсистем. Пусть для некоторой i -й подсистемы z_i представляет собой n -мерный вектор состояний, U_i – m -мерный вектор управления, и r_i является g -мерным вектором входных сигналов, значения элементов которого определяются состояниями других подсистем. Допустим, что подсистемы описываются линейными дифференциальными уравнениями

$$\dot{z}_i = A_i z_i(t) + B_i U_i(t) + C_i r_i(t) \quad (2.25)$$

при $z_i(0) = z_{i0}$ и вектор входов r_i является линейной комбинацией координат состояния всех N подсистем:

$$r_i = \sum_{j=1}^N L_{ij} z_j. \quad (2.26)$$

Рассмотрим следующую задачу оптимизации – выбора управления U_i, \dots, U_N или минимизации критериальной функции в соответствии с ограничениями (2.25) и (2.26)

$$J = \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{1}{2} \|z_i(T)\|_{P_i}^2 + \int_0^T \frac{1}{2} \left[\|z_i(t)\|_{Q_i}^2 + \|U_i(t)\|_{R_i}^2 + \|r_i(t)\|_{S_i}^2 \right] dt \right\},$$

где Q_i, P_i – неотрицательно определенные матрицы; R_i, S_i – положительно определенные матрицы ($\|c\|_L^2 = c^T L c$).

В качестве метода решения данной линейно-квадратической задачи обычно используется метод целевой координации, или баланса взаимодействий, разработанный авторами [15], который базируется на возможности преобразования исходной задачи минимизации в более простую задачу максимизации с использованием двухуровневой итеративной вычислительной процедуры.

Для этого определяется двойственная функция $\Phi(\lambda)$:

$$\Phi(\lambda) = \left\{ \min_{z, u, r} L(z, U, r, \lambda) \right\}.$$

при

$$L(z, U, r, \lambda) = \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{1}{2} \|z_i(T)\|_{P_i}^2 + \int_0^T \left[\frac{1}{2} \|z_i\|_{Q_i}^2 + \frac{1}{2} \|U_i\|_{R_i}^2 + \frac{1}{2} \|r_i\|_{S_i}^2 + \lambda_i^T \left(r_i - \sum_{j=1}^N L_{ij} z_j \right) \right] dt \right\}, \quad (2.27)$$

где λ – g -мерный вектор множителей Лагранжа; $L(z, U, r, \lambda)$ – лагранжиан, образованный в соответствии с условием (2.26). Теорема о строгой дуальности задач на условный экстремум [9] позволяет заключить, что в подобных задачах, когда все ограничения – линейны, а критериальная функция – квадратична для выпуклых задач, имеет место утверждение

$$\max_{\lambda} \Phi(\lambda) = \min_u J.$$

Решение данной задачи может быть найдено с использованием двухуровневой структуры, так как уравнение (2.27) для заданных $\lambda = \lambda^*$ преобразуется к аддитивно-разделительному виду и может быть расчленено на N автономных подлагранжианов для каждой подсистемы.

Введенная выше формализация задачи синтеза координирующих воздействий дает возможность достигнуть необходимой точности описания, применять математические методы оптимизации и проводить структурные исследования [14,54].

Данный подход при естественных предположениях приводит к подзадачам координационного контура и контура локальной оптимизации [14,21,35]. Рассмотрим подзадачу координационного контура. Известные методы задачи координации, как было отмечено выше, базируются, в основном, на следующих подходах [15]: 1) модификации отдельных подзадач целевых функций (метод целевой координации или метод баланса взаимодействий); 2) предсказании взаимодействий: а) выходов z_i на уровне подсистем (координация моделей); б) входов r_i для каждой подсистемы; 3) смешанного метода.

Метод целевой координации на основе (3) приводит, например, к

решению операторного уравнения $L(\kappa) = 0$. Метод координации моделей при построении координирующего алгоритма также приводит к решению подобных уравнений координатора, которые можно записать в виде $L(z) = 0$. Построение координирующего алгоритма на основе смешанного метода приводит к решению системы векторных уравнений $L(\kappa) = 0$, $L(z) = 0$ или $L(\phi) = 0$, $\phi = [z \ \kappa]^T$. Здесь κ , z , и ϕ - координирующие векторы.

Основываясь на результатах работ [63] можно показать, что регулярное решение рассматриваемой задачи координации можно находить на основе итерационного процесса вида

$$\phi_{k+1} = \phi_k + [T'_k(\phi_k)]^{-1} L_k(\phi_k),$$

где $T_k(\phi) = L(\phi) + \alpha_k \|\phi\|^2 / 2$, $\phi \in \Psi$, $\alpha_k = A(k+1)^{-1}$, $A \gg 0$, $k = 0, 1, \dots$. Тогда для некоторого начального приближения $\phi_0 \in \Psi$ имеет место предельное соотношение $\lim_{k \rightarrow \infty} \|\phi_k - \phi^*\| = 0$, где ϕ^* - нормальное решение задачи максимизации $L(\phi)$ на Ψ , т.е.

$$\phi^* \in \Psi = \{\phi : \phi \in \Psi, L(\phi) = L^*, \Psi^* = \sup L(\phi) < \mu\}.$$

Координационные уравнения различных типов с целью синтеза общего подхода к их решению на основе общей теории операторных методов [61], будем рассматривать как задачу решения нелинейного уравнения вида

$$F(\phi) = 0, \tag{2.28}$$

где $F: N \rightarrow N$ отображение, нелинейное, вообще говоря, из N в N ; N - гильбертово пространство.

Построение подходящих итераций – наиболее распространённый и часто единственно возможный путь получения приближения к решению любой нелинейной задачи. Стандартные итерационные процессы математического программирования полностью решают проблему построения аппроксимаций и регуляризирующих алгоритмов [63].

В более общей ситуации (при меньших априорных требованиях) прямо воспользоваться стандартными рецептами построения итеративных методов не удастся: предположения, при которых обеспечивается

сходимость процессов, построенных по этим рецептам, не выполнимы для некорректных задач. В этой связи возникает необходимость в разработке специальных устойчивых алгоритмов координации на основе теории и методов решения некорректных или неустойчивых задач [61,62].

Построение устойчивых вычислительных схем решения уравнения (2.28) будем производить основываясь на так называемой общей схеме конструирования регулярных алгоритмов в рамках принципа итеративной регуляризации [57,62]. Необходимость синтеза устойчивых алгоритмов координации в классе задач, описываемых вариационными неравенствами, обуславливается их широкими возможностями с точки зрения получения различных эффективных регулярных итерационных схем решения задач нелинейного анализа.

В [62] доказывается, что задача решения нелинейного уравнения (2.28) эквивалентна задачи решения вариационного неравенства вида

$$(F(\phi^*), \phi - \eta) \leq 0 \quad \forall \eta \in Q \quad \phi^* \in D \cap Q. \quad (2.29)$$

Задачу решения вариационного неравенства (2.29) часто удаётся преобразовать к другим эквивалентным задачам, отличающимся от первоначальной по форме и которые могут оказаться более удобными [131]. Такие преобразования оказываются полезными, в частности, при конструировании численных методов решения (2.29).

Рассмотрим схему [62] аппроксимации решений (2.29) последовательностью решений некоторых вспомогательных вариационных неравенств. Использование такой аппроксимации при построении регуляризирующего алгоритма для задач на экстремум функционала было предложено А. Н. Тихоновым [57].

В рассматриваемом случае реально предложить [57,62], что пространство B таково, что в нём существует всюду определённый сильно монотонный оператор M т.е.

$$(M\phi - M\eta, \phi - \eta) \geq \|\phi - \eta\| \gamma(\|\phi - \eta\|) \quad \forall \phi, \eta \in B,$$

где $\gamma(t)$ -строго возрастающая непрерывная функция на $[0, \infty)$.

Следуя принципу итеративной регуляризации [62] можно показать, что в условиях принятых предположений существует ϕ_ε -единственное решение вариационного неравенства

$$(F(\phi) + \varepsilon M(\phi), \phi - \eta) \leq 0, \eta \in Q$$

и если K – множество решений (2.29) не пусто, то справедливо предельное соотношение $\lim_{t \rightarrow \infty} \|\phi_\varepsilon - y\|$, где $y \in K$ -единственное решение вариационного неравенства

$$(M(\phi), \phi - \eta) \leq 0 \quad \forall \eta \in K.$$

Принятая аппроксимация позволяет построить итерационную последовательность, сходящуюся к решению (2.29). Приведённая схема открывает широкие возможности итеративной регуляризации многих конкретных базовых методов, т.е. таких итеративных методов, при помощи которых осуществляется переход от η_n к $\eta_{n+\lambda}$ ($n=0,1,\dots$). Основываясь на условиях принятых предложений в соответствии с принципом итеративной регуляризации можно выписать явную итерационную последовательность η_n :

$$\eta_{n+1} = p_\alpha(\eta_n - \alpha_n(F(\phi_n)) + \varepsilon_n M(\eta_n)), \quad n=0,1,\dots$$

где p_α -оператор проектирования.

Можно показать [57], что в качестве последовательностей α_n и ε_n удовлетворяющих требуемому условию вида

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|\phi_\varepsilon - y\| = 0,$$

могут служить последовательности вида

$$\alpha_n = (1+n)^{-1/2}, \quad \varepsilon_n = (1+n)^{-p}, \quad \alpha_n = \theta \varepsilon_n;$$

$$\varepsilon_n = (1+n)^{-p}, \quad 0 < p < \frac{1}{2}; \quad \theta < d;$$

$$0 < \alpha_n \equiv \alpha / N, \quad \varepsilon_n = (1+n)^{-p}, \quad 0 < p < 1;$$

$$\alpha_n = \frac{1}{1 + \varepsilon_n}, \quad \varepsilon_n = (1+n)^{-p}, \quad 0 < p < 1;$$

где d – некоторая постоянная, $\|F(\Phi)\| \leq N$.

На основе приведённых выше конструкций итеративных аппроксимаций можно построить регуляризирующие алгоритмы для отображения, связанного с вариационным неравенством. Для этого остановку итерационных последовательностей достаточно осуществлять согласно следующих предельных соотношений [62]:

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \delta / \varepsilon_{n(\delta)} = 0, \quad \lim_{\delta \rightarrow 0} \delta^{1/2} / \varepsilon_{n(\delta)}^2 = 0.$$

Предложенные вычислительные схемы конструирования регулярных алгоритмов нелинейной задачи координации в рамках принципа итеративной регуляризации и оценки параметров итерационных алгоритмов позволяют вырабатывать эффективные координирующие и управляющие воздействия в зависимости от структурных свойств рассматриваемого технологического объекта с учетом нелинейных связей между его элементами и используемого в системе принципа соподчиненности уровней управления [59-62].

Выводы по главе

1. Произведена формализация задачи синтеза координирующих сигналов с использованием различных методов координации подсистем применительно к системам управления, имеющим двухуровневую децентрализованную топологическую структуру. Показана целесообразность решения задачи синтеза алгоритмов на основе концепций операторного представления связей между подсистемами.
2. Разработаны алгоритмы синтеза систем управления технологическими объектами на базе иерархических организационных структур.
3. Предложены алгоритмы оптимальной координации и согласования решений в двухуровневых системах управления технологическими объектами.
4. Построена вычислительная схема конструирования регулярных

алгоритмов задачи координации в рамках принципа итеративной регуляризации. Предложены оценки параметров данного итерационного алгоритма, обеспечивающие его сходимость.

ГЛАВА III. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДЕКОМПОЗИЦИОННО- КООРДИНИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ

3.1. Формализация процедур описания связей между технологическими объектами в производстве синтетических моющих средств и задачи координационного управления

Перед промышленностью синтетических моющих средств (СМС) стоят важные задачи по улучшению их качества, увеличению ассортимента, снижению себестоимости СМС, автоматизации и механизации технологических и других производственных процессов, сокращению численности обслуживающего персонала.

В настоящее время получение порошкообразных СМС с высокими качественными показателями является одной из важнейших проблем в производстве СМС [68-72]. Достижения современного научно-технического прогресса открывают новые возможности для технологического перевооружения и автоматизации управления производством СМС, что позволит достигнуть высокого уровня производительности труда и качества выпускаемой продукции. Комплексная автоматизация производственных процессов производства порошкообразных СМС, как правило, не возможна без автоматизации управления отдельными этапами процесса и основными аппаратами технологической линии [72].

Разработка методов и программных средств анализа и синтеза иерархических многоуровневых систем управления непрерывными

технологическими объектами и комплексами способствует появлению нового поколения интегрированных систем, характерными чертами которых являются: реальная многозадачность, цифровые технологии обработки данных, модульная структура аппаратных и программных средств, развитые системные интерфейсы, возможность глубокой модернизации системы на протяжении всего ее жизненного цикла.

Предлагаемую информационную технологию управления производством проиллюстрируем на примере построения иерархической автоматизированной системы управления технологическими процессами и подсистемами производства СМС.

Эффективное управление рассматриваемым сложным объектом возможно на основе применения интегрированной системы управления, охватывающей все этапы управления, начиная от оптимальной координации режимов отдельных агрегатов и кончая регулированием их параметров. Использование системного подхода к построению интегрированной системы управления технологическими процессами производства СМС требует рассмотрения ее как многоуровневой иерархической системы. Принципом расчленения на уровни при этом является соблюдение соответствия информативных и частотных характеристик возмущений, приложенных к системе и к отдельным уровням интегрированной системы.

Система оптимального управления производством СМС рассматривается как трехуровневая иерархическая система, между уровнями которой разделены процессы управления: оптимальная координация технологических агрегатов производства – оптимизация режимов отдельных машин и аппаратов – регулирование технологических параметров.

Процедуры координации технологических процессов предприятия с непрерывным характером производства рассмотрим на примере задач координации установок Ташкентского завода синтетических моющих

средств. На этих установках функционируют АСУТП, которые призваны решать задачи локальной оптимизации с частотой до 10 раз в сутки. Однако независимое функционирование АСУТП приводит к снижению их эффективности. Поэтому, наряду с традиционными задачами АСУТП, целесообразно решать и координирующую задачу, когда с учетом прогнозируемых значений внешних возмущений, критерии задач АСУТП подстраиваются под целевую функцию и ограничения верхнего уровня управления. При этом что целевой функцией верхней ступени управления является разность между стоимостью товарной продукции (СМС) и стоимостью сырья и поступающих в систему со стороны полуфабрикатов, определяемая из решения задачи оперативного планирования.

На рис.3.1 приведена схема технологической цепочки производства порошкообразных СМС. Узел приготовления композиции оснащен расходными бункерами сыпучего сырья 1 для приема триполифосфата натрия, сульфата натрия и соды. Всего в узле пять бункеров, из которых три - объемом по 14,5 м³, и два - по 11,0 м³. Сыпучее сырье из бункеров подается шнеком или скребковым транспортером в дозаторы, взвешивается поочередно и выгружается шнеком или транспортером в один из двух реакторов - смесителей.

Для приема жидкого стекла (сульфанола, алкилсульфатов и др.) установлено шесть емкостей 2, из которых четыре объемом по 16 м³ и две - по 12,5 м³ каждая. Емкости оборудованы рубашками и рамными мешалками. Запас сырья в этих емкостях достаточен для бесперебойной работы цеха в течение одной смены. Жидкие компоненты поочередно загружаются на весы типа ВЖА-2, взвешиваются и выгружаются в реактор-смеситель. Открытие и закрытие кранов и клапанов производятся вручную или автоматически.

Процесс приготовления композиции осуществляется периодически в двух реакторах 3 объемом по 8 м³ каждый. Реакторы оборудованы рубашками и лопастными мешалками. После приготовления композиции

из реактора-смесителя она перекачивается насосом через фильтр-отстойник в расходный реактор, расположенный на том же уровне.

Композиция из расходного реактора поступает самотеком в гомогенизатор, из которого поршневыми паровыми насосами через фильтр тонкой очистки подается к насосу высокого давления, далее через компенсатор к распылительным форсункам сушильной башни 4, имеющей диаметр 6 м.

Сушка распыляемой композиции осуществляется в башне 4 потоком теплоагента, который вентилятором горячих газов из газогенератора нагнетается в коллектор. Сушку распыляемой композиции в башне ведут противотоком при температуре теплоагента 300-350⁰С.

Отработанный теплоагент с температурой 105-120⁰С, представляющий собой смесь воздуха с парами воды и пылевидными фракциями СМС, выходит из верхней части сушильной башни 4 и поступает на сухую очистку в группу параллельно работающих циклонов. Здесь отделяются более крупные частицы, которые через шлюзовой затвор подаются на транспортер готового продукта. Освобожденная от порошка отработанная газовая смесь подается на мокрую очистку в скрубберы, где происходит окончательное удаление мельчайших частиц пыли. После скрубберов отработанные газы выбрасываются в атмосферу.

Порошок с температурой 70⁰С из нижней части башни транспортерами через вибросито подается норией в приемный бункер, откуда дозатором подается в смеситель 6, где к нему присыпают дозатором перборат натрия из бункера 5 и напыляется отдушка. Готовый порошок из смесителя поступает в приемный бункер, а затем норией с помощью транспортера распределяется по бункерам готового продукта, откуда поступает к расфасовочным автоматам.

Рассматриваемый объект представляет собой сложную технологическую систему, состоящую из последовательности подсистем (элементов), объединенных между собой ресурсными, материальными и энергетическими потоками. Каждый элемент выполняет определенную технологическую функцию и состоит из аппаратов, которые работают в

последовательных, параллельных или последовательно-параллельных соединениях.

Производственный процесс характеризуется многофакторностью, случайностью изменения технологических и организационных взаимосвязей между подсистемами. Входные составляющие непрерывно изменяют свое состояние под влиянием различных факторов и воздействий.

В этих условиях оптимизация производственной деятельности по выпуску синтетических моющих средств является сложной задачей, решить которую можно лишь с помощью АСУ, построенной в виде многоуровневой иерархической системы управления.

3.2. Алгоритмы синтеза декомпозиционно-координирующего управления технологическими процессами производства синтетических моющих средств

Рассмотрим более подробно процесс функционирования рассматриваемых отдельных подсистем и системы в целом. Декомпозиция системы произведена по организационному, технологическому и временному признакам управления агрегатами и комплексами [8,50].

С целью описания подсистем введем следующие обозначения: z_i - входной вектор i -ого элемента, зависящий от выхода прочих элементов рассматриваемой системы; u_i - вектор технологических управляющих воздействий i -ого элемента; ξ_i - вектор измеряемых возмущений i -ого элемента, который измеряется перед решением задач АСУТП (при решении координирующей задачи он принимается равным предсказанному значению), $x_i = (z_i, u_i, \xi_i)$ - вектор переменных i -ого элемента x_i ; допустимое технологическое множество i -ого элемента; g_i - вектор тех качественных показателей продуктов, производимых i -ым элементом, на

которые накладываются двусторонние ограничения; A'_i, b'_i - соответственно матрицы и векторы параметров математических моделей i -ого элемента ($j=1,2,\dots$); c_i^j - скалярные параметры; $F_i = (f_{i1}, \dots, f_{im})$ - вектор показателей i -ого элемента.

Приступим теперь к описанию глобальных ограничений и глобальной целевой функции. Для этого прежде всего выпишем показатели работы элементов.

Показателем работы первого элемента является вектор

$$F_1 = (f_{11}, f_{12}, f_{13}),$$

где f_{11} - расход триполифосфата натрия; f_{12} - расход сульфата натрия; f_{13} - расход соды. Показателем работы второго элемента является вектор:

$$F_2 = (f_{21}, f_{22}, f_{23}),$$

где f_{21} - расход сульфанола; f_{22} - расход алкилсульфата; f_{23} - расход жидкого стекла.

Функционирование третьего элемента отражается вектором:

$$F_3 = (f_{31}, f_{32}),$$

где f_{31} - вязкость композиции, f_{32} - расход композиции.

Формально процесс функционирования четвертой подсистемы описывается вектором:

$$F_4 = (f_{41}, f_{42}, f_{43}, f_{44}),$$

где f_{41} - влажность порошка; f_{42} - расход пылегазовой смеси; f_{43} - потребление отработанного теплоагента; f_{44} - расход теплоносителя.

Показателем работы пятого элемента является вектор:

$$F_5 = (f_{51}, f_{52}),$$

где f_{51} - расход пербората натрия; f_{52} - расход отдушки.

Наконец, функционирование шестого элемента отражает вектор:

$$F_6 = (f_{61}),$$

где f_{61} - выход готового продукта (порошка).

Выпишем целевую функцию центра, которой, как было указано, является разность между стоимостью производимых товарных продуктов и стоимостью СМС, поступающих со стороны на блок компаундирования. Поскольку товарным продуктом является порошок СМС, то

$$H_0 = f_{61} \cdot c_{61},$$

где c_{61} - цена конечного продукта.

Глобальными ограничениями задачи являются плановые задания на выпускаемые СМС и ограничения, отражающие взаимосвязь элементов.

Плановые задания имеют вид:

$$f_{61} \geq b_1; \quad f_{61} \geq b_2.$$

Остановимся на ограничениях, связывающих входы элемента с выходами других элементов.

Сырьем первого и второго элементов являются соответственно сыпучее (триполифосфат натрия, сульфат натрия, сода) и жидкое (сульфанол, алкилсульфат, жидкое стекло) сырье, поступающее извне. Вход этих установок не зависит от выхода прочих элементов рассматриваемой системы.

Поскольку сырьем третьего элемента является сыпучее и жидкое сырье, подаваемые первым и вторым элементом, обозначив расход сырья третьего элемента через z_{31} , имеем соотношение:

$$f_{11} + f_{12} + f_{13} + f_{21} + f_{22} + f_{23} = z_{31}.$$

Сырьем четвертого элемента является композиция, производимая третьим элементом. Обозначая расход сырья четвертого элемента через z_{41} , приходим к соотношению

$$f_{31} = z_{41}.$$

Для пятого элемента сырьем являются перборат натрия f_{51} и отдушка f_{52} поступающая извне. Вход этой установки не зависит от выхода прочих элементов рассматриваемой системы.

Более сложные соотношения имеют место между входом шестого

элемента (сырьем для которого служит перборат натрия, отдушка) и выходами третьего и четвертого элементов, производящих этот продукт.

Отсюда имеем следующее соотношение:

$$f_{51} + f_{52} + f_{41} = z_{61}.$$

Итак, выписаны глобальная целевая функция, глобальные ограничения и соотношения, связывающие выходные и входные переменные.

После этого приступают к получению математических моделей составных элементов анализируемой системы. При этом необходимо выделить управляющие воздействия, ограничения, определяющие допустимое технологическое множество, исходя из позиционных ограничений на управляющие переменные и другие регламентные условия (в том числе, и с учетом качественных показателей, участвующих в технологическом переделе сырья, полуфабрикатов и готовой продукции).

Глобальная цель функционирования системы управления производством СМС заключается в определении вектора управляющих воздействий $u^{(i)}$ и вектора нагрузок $x_s^{(i)}$ для каждого агрегата, которые обеспечивают максимальное значение стоимости товарной продукции

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \sum_{j \in B(i)} z_j^{(i)} x_j^{(i)} \rightarrow \max,$$

где: $x_s^{(i)}$ - вектор входного потока i -го агрегата; $s \in E(i); E(i)$ - множество индексов входных потоков i -го агрегата; N - число агрегатов; $Z_j^{(i)}$ - фиксированные цены j -го товарного продукта i -го агрегата; $B(i)$ - множество индексов целевых продуктов i -го агрегата; $x_j^{(i)}$ - j -й выходной поток i -го агрегата.

Моделирование производства СМС с целью построения алгоритмов многоуровневого управления включает математические модели технологических агрегатов и производственно-экономическую модель самого производства.

При построении производственно-экономической модели производства СМС последнее рассматривается как некоторая ориентированная сеть, узлами которой являются агрегаты и емкости для хранения продуктов, а дугами - технологические связи между ними [73].

Математические модели агрегатов (элементов технологической схемы) описываются зависимостями:

$$x_j^{(i)} = f_j^{(i)}(u^{(i)}, x_s^{(i)}, \xi^{(i)}), j = \overline{1,5}; i \in J.$$

Здесь $\xi^{(i)}$ - вектор контролируемых возмущений i -го агрегата, действующих на аппараты узла.

Система уравнений, описывающая состояние сети и представляющая собой модель производства СМС, включает в себя ограничения:

а) на выпуск товарных продуктов:

$$x_j^{(i)} \geq A_j^{(i)}, \forall j \in B(i), j = 1,2, i \in J,$$

где $A_j^{(i)}$ – план на выпуск j -го целевого продукта для i -го агрегата;

б) на выпуск нецелевых продуктов

$$x_j^{(i)} \leq c_j^{(i)}, \forall j \in \Gamma(i), i \in J,$$

где $c_j^{(i)}$ - верхние границы выпуска j -го нецелевого продукта i -го агрегата; $\Gamma(i)$ - множество индексов нецелевых продуктов;

в) на внешнесистемную поставку сырья и полупродуктов

$$x_{0\min} \leq x_0 \leq x_{0\max},$$

где x_0 – количество сырья перерабатываемого производством за период управления; $x_{0\min}$, $x_{0\max}$ - соответственно его минимальное и максимальное значения;

г) на материальный баланс по технологическим агрегатам и узлам

$$\sum_{s \in E(i)} x_s^{(i)} - \sum_{j \in K(i)} x_j^{(i)} \geq 0, k(i) = B(i) \cup \Gamma(i),$$

где $k(i)$ – множество индексов выходных потоков;

д) на область допустимых значений управлений

$$\{u^{(i)}, x_s^{(i)}, \forall_s \in E(i)\} \in G_i,$$

где G_i - некоторая замкнутая область управления.

Математические модели определяются на базе экспериментальных данных, накопленных при нормальных условиях эксплуатации агрегатов, и представляют собой нелинейные регрессионные полиномиальные уравнения второй степени.

Задача оптимизации управления производством СМС на базе математических моделей элементов и агрегатов в целом представляет собой сложную задачу нелинейного программирования с большим числом уравнений и ограничений, что серьезно затрудняет ее решение.

В этой связи целесообразно исследовать возможность применения метода частичного синтеза системы оптимального управления производством СМС с использованием методов многоуровневой оптимизации. При этом задача оптимизации рассматривается как задача Лагранжа на условный экстремум, в которой независимыми переменными являются $u^{(k)}$, состояния $x^{(k)}$, связанные между собой ограничениями типа равенств и неравенств, а глобальной целью является $\Phi \rightarrow \max$.

Применение теории двойственности, связанной с функцией Лагранжа, позволяет перейти к двойственной задаче, в которой уже не предполагается выполнение уравнения движения. Степень выполнения этих соотношений на каждом шаге решения задачи оценивается множителями Лагранжа $\lambda^{(k)}$. При этом ввиду одноэкстремальности исходной задачи оптимальное решение двойственной задачи таково, что на нем уравнения движения выполняются точно.

Одноэкстремальность рассматриваемой задачи обеспечивается вогнутостью квадратичных функций, выпуклостью множеств, выделяемых этими ограничениями, и выпуклостью глобальной целевой функции как линейной комбинации выпуклых функций.

Оптимальное значение координирующих сигналов можно найти методом прямого поиска [30].

Функционирование системы рассматривается относительно цели подсистемы верхнего уровня. Причем, функционирование подсистем каждого уровня построено таким образом, чтобы удовлетворить целям подсистем верхнего по отношению к ним уровня. Каждая из подсистем при решении задач самоуправления определяет свои возможности на планируемый период по более достоверной информации. С учетом этих возможностей решаются задачи координации подсистем нижнего уровня. Если решение такой задачи невозможно, то возникает конфликтная ситуация между двумя соседними уровнями, что приводит к решению задачи перепланирования в подсистеме верхнего уровня, т.е. к перераспределению ресурсов или изменению значений управляющих воздействий. Если эта задача неразрешима, то выдается управляющее воздействие на подсистемы нижнего уровня, которые решают свои задачи и т.д.

Решив задачи всех уровней, находят управляющие воздействия в каждой из подсистем, которые позволяют решить задачу подсистемы верхнего уровня. Тем самым находят опорные значения выходных переменных каждой из подсистем, относительно которых должна решаться задача оперативного управления при действии внешних возмущений на подсистемы нижних уровней. В этом случае необходимо рассматривать задачи точности функционирования исследуемой иерархической системы.

Таким образом, нами изложены результаты исследования производства СМС как сложной многоуровневой системы и разработки методов, моделей и алгоритмов и практической реализации АСУТП производства с применением теории многоуровневой оптимизации. Практическая реализация предлагаемой трехуровневой автоматизированной системы управления технологическими процессами производства синтетических моющих средств сулит существенный экономический эффект, обеспечиваемый экономией материальных и энергетических ресурсов и увеличением выхода целевой продукции [73,74].

- 1. Произведена формализация процедур описания связей между технологическими объектами в производстве синтетических моющих средств и задачи координационного управления.**
- 2. На основе разработанных устойчивых алгоритмов декомпозиционно-координирующего управления и синтеза локальных систем предложена иерархическая трехуровневая система управления технологическим процессом производства синтетических моющих средств, обеспечивающая согласованное взаимодействие отдельных технологических процессов.**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе концепций системного анализа, теории иерархических многоуровневых систем и методов решения некорректно поставленных задач разработаны устойчивые алгоритмы иерархического декомпозиционно-координирующего управления, обеспечивающие требуемую точность и регулярность решений и способствующие повышению качества процессов управления и эффективности функционирования технологических объектов с непрерывным характером производства.

В итоге получены следующие результаты:

1. Произведена формализация задачи синтеза координирующих сигналов с использованием различных методов координации подсистем применительно к системам управления, имеющим двухуровневую децентрализованную топологическую структуру. Показана целесообразность решения задачи синтеза алгоритмов на основе концепций операторного представления связей между подсистемами и выявлены особенности построения и реализации итерационных регуляризирующих алгоритмов координации.
2. Разработаны алгоритмы синтеза систем управления технологическими объектами на базе иерархических организационных структур.
3. Предложены алгоритмы оптимальной координации и согласования решений в двухуровневых системах управления технологическими объектами.
4. Построена вычислительная схема конструирования регулярных алгоритмов задачи координации в рамках принципа итеративной регуляризации. Предложены оценки параметров данного итерационного алгоритма, обеспечивающие его сходимость.
5. На основе разработанных устойчивых алгоритмов декомпозиционно-координирующего управления и синтеза локальных систем предложена иерархическая трехуровневая система управления технологическим процессом производства синтетических моющих средств, обеспечивающая согласованное взаимодействие отдельных технологических процессов. Практическая реализация разработанной системы позволяет обеспечить требуемое качество переходных процессов, адекватное реагирование к изменяющимся условиям работы отдельных процессов при переходе от одного класса обстановки к другому и реконфигурацию системы с целью парирования сигнальных, параметрических и структурных возмущений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированное управление технологическими процессами: Учебное пособие / Зотов Н.С., Назаров О.В., Печелин Б.В., Яковлев В.Б. / Под ред. Яковлева В.Б. - Л.: Изд-во Ленигр. ун-та, 1988. - 224 с.
2. Сложные системы. Оптимизация структуры и функционирование // Сб. тр. / Ин-т пробл. управления / Отв. ред. А.Д. Цвиркун, В.Н. Бурков . - М.: ИПУ, 1988. - 71 с.
3. Автоматизация технологических процессов пищевых производств / Под ред. Е.Б. Карпина. - 2-е изд., - М.: Агропромиздат, 1985. - 536 с.
4. Моделирование и оптимизация сложных систем управления / Отв. ред. Я.З. Цыпкин. - М.: Наука, 1981. - 272 с.
5. Основы автоматизации управления производством. И.М. Макаров, Н.Н. Евтихийев, Н.Д. Дмитриева и др. - М.: Высш. школа, 1983. - 504 с.
6. Панасюк В.И. и др. Оптимальное управление в технических системах. - Минск: Навука и тэхніка, 1990. - 271 с.
7. Пирсон Д.Д. Системы многоуровневого управления. - М.: Наука, 1969.
8. Подчасова Т.П., Лагода А.П., Рудницкий В.Ф. Управление в иерархических производственных структурах. - Киев: Наук. думка, 1989. - 184 с.
9. Уланов Г.М., Алиев Р.А., Кривошеев В.П. Методы разработки интегрированных АСУ промышленными предприятиями. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 320 с.
10. Пиггот С.Г. Интегрированные АСУ химическими производствами. - М.: Химия, 1986. - 120 с.
11. Домрацкий А.Н., Лескин А.А., Пономарев В.М. Системное проектирование интегрированных производственных комплексов. - Л.:

Машиностроение, 1986. - 319 с.

12. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др./ Отв. ред. В.Г. Лазарев и др. - М.: Радио и связь, 1983. - 248 с.

13. Касти Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы. - М.: Мир,, 1982. - 342 с.

14. Островский Г.М., Волин Б.М. Моделирование сложных систем химико-технологических схем. - М.: Химия, 1975. - 312 с.

15. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. - М.: Мир, 1973. - 344 с.

16. Методы анализа и синтеза структур управленческих систем / Б.Г. Волик, Б.Б. Буянов, Н.В. Лубков и др. / Под ред. Б.Г. Волика. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 295 с.

17. Уколов И.С. и др. Интегрированные системы активного управления. Методы алгоритмической интеграции / Отв. ред. Р.А. Беляков, АН СССР. Научный совет по комплексной программе “Кибернетика”. - М.: Наука, 1986. - 180 с.

18. Живоглазов В.П. Интегрированные и многоуровневые системы управления производством. - Фрунзе: Илым, 1980. - 146 с.

19. Лазарев И.А. Композиционное проектирование сложных агрегативных систем. - М.: Радио и связь, 1986. - 311 с.

20. Системы: декомпозиция, оптимизация и управление / Сост.: М. Сингх, А. Титли / Пер. с англ. А.В. Запорожца. - М.: Машиностроение, 1986. - 493 с.

21. Алиев Р.А., Либерзон М.И. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления. - М.: Радио и связь, 1987. - 208 с.

22. Ядыкин И.Б., Шумский В.М., Овсепян Ф.А. Адаптивное управление непрерывными технологическими процессами. - М.:

Энергоатомиздат, 1985. - 240 с.

23. Декомпозиция и координация в сложных системах: Материалы Всесоюзн. конф. // Редкол.: П.С. Краснощеков (отв. ред.) и др. - Челябинск: ЧПИ, 1987. - 167 с.

24. Бойчук Л.М. Синтез координирующих систем автоматического управления. - М.: Энергоатомиздат, 1991. -160 с.

25. Диденко К.И. Проектирование агрегатных комплексов технических средств для АСУТП. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 168 с.

26. Диденко К.И. МикроДАТ. Основная системная концепция // Приборы и системы управления. №11. 1985. - С. 2-5.

27. Вавилов А.А., Имаев Д.Х. Машинные методы расчета систем управления. - Л.: Машиностроение, 1981. - 276 с.

28. Управляющие ЭВМ в автоматизированных системах управления технологическими процессами. Т.1,2 / Под ред. Харрисона. - М.: Мир, 1976. - 1062 с.

29. Михалевич В.С., Волкович В.А. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. - М.: Наука, 1982. - 286 с.

30. Болнокин В.Е., Чинаев П.И. Анализ и синтез систем автоматического управления в ЭВМ: Алгоритмы и программы. - М.: Радио и связь, 1986. - 247 с.

31. Крутько П.Д., Максимов А.И., Скворцов Л.М. Алгоритмы и программы проектирования автоматических систем. - М.: Радио и связь, 1988. - 304 с.

32. Программы в помощь изучающим теорию линейных систем управления. - М.: Машиностроение, 1981. - 200 с.

33. Концепция интегрированного построения автоматизированных систем управления предприятиями химико-технологического типа / И.Н. Минскер, С.Г. Пиггот, В.С. Ромм, И.А. Фрейдензон // Измерения,

контроль, автоматизация. - 1977. № 4. - С. 57-66.

34. Справочник проектировщика автоматизированных систем управления технологическими процессами / Под ред. Г.Л. Смилянского. - М.: Машиностроение, 1983. - 527 с.

35. Control and Coordination in Hierarchical Systems / W. Findeisen, F.N. Bailey, M. Brdyset al. – Chichester: Wiley, 1980. – 467 p.

36. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. - М.: Радио и связь, 1981. - 560 с.

37. Первозванский А.А., Гайцгори В.Г. Декомпозиция, агрегирование и приближенная оптимизация - М.: Наука, 1979. - 342 с.

38. Singh M.G. Dinamical Hierarchical Control. - Amsterdam: North-Holland, 1977. - 257 p.

39. Интегрированная система управления предприятиями непрерывного производства / А.Д. Коробкин, Б.В. Прилепский, А.И. Кричевский. - Новосибирск: Наука, 1983. - 202 с.

40. Шостак В.Ф., Борячок М.Д. и др. Многоуровневая структура оптимизации режимов функционирования в АСУ производством аммофоса. - В кн.: Автоматизация химического производства. - М., НИИТЭХИМ, № 4, 1975.

41. Ицкович Э.Л. ЭВМ в системе управления предприятием. - М.:Наука,1980.-192 с.

42. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений / Под ред. Н.Н. Воробьева. - М.: Наука, 1978. - 352 с.

43. Штернберг А.А. Аналитическое конструирование многоуровневой децентрализованной системы автоматического управления. - АиТ, 1983. № 2. с. 90-98.

44. Siljak D.D. Large-scale dynamic systems: Stability and structure. – New York, 1978. - 322 p.

45. Системы автоматического управления объектами с переменными параметрами / Б.Н. Петров, Н.И. Соколов, А.В. Липатов и др. - М.: Машиностроение, 1986. - 248 с.

46. Сухотин Ю.Н. Анализ и синтез функциональной структуры интегрированных систем управления. Измерения, контроль, автоматизация, 1977. № 4(12), с. 44-49.

47. Цвиркун А.Д. Структуры сложных систем. – М.: Сов.радио, 1975. – 199с.

48. Емельянов С.В., Уткин В.И. и др. Теория систем с переменной структурой. - М.: Наука, 1970.

49. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации. - М.: Советское радио, 1974. – 400 с.

50. Findeisen W. Decentralized and Hierarchical Control or Disagreement of Interests// Automatica.-1982.18,№16. p. 647-664.

51. Координируемость динамических систем // Техн.кибернетика. – 1970. №5. - с. 1-25.

52. Барский Л.А., Козин В.З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. – М.: Недра, -1978. - 486 с.

53. Островский Г.М., Бережинский Т.Д. Оптимизация химико-технологических процессов. Теория и практика. - М.: Химия, 1984. - 240 с.

54. Алиев Р.А., Кривошеев В.П., Либерзон М.И. Метод оптимального согласования поведения элементов больших интегрированных систем и его приложение в АСУ НПЗ // Математические методы и их приложения в больших и технических системах. Всесоюзная школа-семинар. - М.: ЦЭМИ АН СССР, 1980. –С. 18-21.

55. Адаптивные системы автоматического управления / Под ред. В.Б. Яковлева. - Л., 1984.

56. Петров Б.Н., Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем. Линейные модели. // Техническая кибернетика, 1980. № 4. с. 147-156.
57. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Метода решения некорректных задач. - М.: Наука, 1979. - 288 с.
58. Лаврентьев М.М., Романов В.Г., Шишатский С.П. Некорректные задачи математической физики и анализа. М.: Наука, 1980. – 288 с.
59. Алифанов О.М., Артюхин Е.А., Румянцев С.В. Экстремальные методы решения некорректных задач. - М.: Наука, 1988. - 288 с.
60. Гончарский А.В., Леонов А.С., Ягола А.Г. Обобщенный принцип невязки // ЖВМиМФ. 1973. Т.13. № 2. с. 294-302.
61. Морозов В.А. Регулярные методы решения некорректно поставленных задач. - М.: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. -240 с.
62. Бакушинский А.Б., Гончарский А.Б. Некорректные задачи. Численные методы и приложения. - М.; Изд-во МГУ, 1989. – 197 с.
63. Васильев Ф.П. Методы решения экстремальных задач. Задачи минимизации в функциональных пространствах, регуляризация, аппроксимация. - М.: Наука, 1981. – 400 с.
64. Овсиевич В.Л. Модели формирования организационных структур. - Л.: Наука, 1979. - 158 с.
65. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. - М.: Мир, 1973. - 344 с.
66. Климов А. Н. Структурные функции графодинамики // АиТ. 1980. № 4. -С. 187-189 с.
67. Бусленко В. Н. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
68. Бовика Л.И., Ковалев В.М.. Новое в производстве СМС. - Киев: Знание, 1983. -242 с.

69. Бухштаб З.И., Мельник А.П., Ковалев В.М. Технология синтетических моющих средств. - М.: Легпромбытиздат, 1988. - 320 с.

70. Ковалев В.М., Петренко Д.С. Технология производства синтетических моющих средств. - М.: Химия, 1992. - 272 с.

71. Современные технологические схемы и оборудования производства СМС методом распылительной сушки композиции / Ковалев В.М. и др. - М.: НИИТЭХИМ, 1980. - 146 с.

72. Паронян В.Х., Гринь В.Г. Технология синтетических моющих средств. - М.: Химия, 1984. - 224 с.

73. Игамбердиев Х.З., Алимова У.Р., Шамурадова Д.Р. Формализация задачи многоуровневой оптимизации производства синтетических моющих средств. Сборник трудов Республиканская научно-практическая конференция «Интеграция вузовской науки, производства и образования», Ташкент. ТашГТУ, 2004 (в печати).

74. Шамурадова Д.Р., Игамбердиев Х.З. К задаче оптимизации производства синтетических моющих средств. «Фан ва техника тараккиетида ёшлар» мавзусида иктидорли талабаларнинг туртинчи илмий-амалий анжумани, 2-кисм, Тошкент. ТошДТУ, 2004. 5-7 бетлар.

75. www.aport.ru

76. www.library.ru

77. www.marcomp.ru

78. www.refer.ru

79. www.mstu.ru

80. www.referat.ru